

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
ВРИО ректора ФГБОУ ВО  
«Ивановский государственный  
университет», д-р хим. наук, профессор  
Сырбу С.А.

«*Сырбу*» 2019 г.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный университет»**

Диссертация Корсакова Сергея Сергеевича «Моделирование свойств помеховых нелинейных рассеивателей», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена на кафедре математики, физики и методики обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ивановский государственный университет», Шуйский филиал.

С 2013 г. по настоящее время Корсаков Сергей Сергеевич является военнослужащим Российской армии.

Корсаков Сергей Сергеевич в 2013 году закончил «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» по специальности «Радиофизика и электроника» с присуждением квалификации «Радиофизик».

С 2013 по 2016 гг. Корсаков Сергей Сергеевич обучался в аспирантуре ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный университет», Шуйский филиал по специальности 05.13.19 – методы и системы защиты информации, информационная безопасность.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов (№15.1-15-468 от 15.04.2019 г.), выдано ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

Научный руководитель – доктор технических наук, (специальность 05.12.04 – радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения), доцент Бабанов Николай Юрьевич, проректор по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», по совместительству – доцент кафедры математики, физики и методики обучения ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет», Шуйский филиал.

По итогам рассмотрения диссертации «Моделирование свойств помеховых нелинейных рассеивателей» принято следующее ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

## **1. Оценка выполненной соискателем работы.**

Диссертация Корсакова Сергея Сергеевича «Моделирование свойств помеховых нелинейных рассеивателей» является завершённым самостоятельным научным исследованием, соответствующим паспорту специальности 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, которое способствует решению актуальной научной задачи по исследованию амплитудных, частотных и пространственных свойств источников нелинейных помех – пассивных полупроводниковых нелинейных рассеивателей для чего разработана методика определения уровня поля нелинейной помехи, переизлучаемой нелинейным рассеивателем в произвольном направлении и методика исследования пространственных свойств источников нелинейных помех по известным амплитудной характеристике и пространственным характеристикам рассеивающей части, разработаны численные модели помеховых нелинейных рассеивателей, учитывающие процессы согласования импедансов рассеивающей части и нелинейной нагрузки, а также разработана модель эталонного широкополосного нелинейного рассеивателя, применимого для калибровки широкополосных нелинейных измерительных установок и предложена методика выполнения калибровки.

## **2. Конкретное личное участие автора в получении результатов.**

Личное участие соискателя выражается в следующем:

– произведены оценочные расчёты позволяющие определить минимальное удаление, на котором могут находиться сторонние радиотехнические средства, не подвергаясь воздействию помехового поля, формируемого пассивным источником нелинейных помех с известной амплитудной характеристикой, уровень интенсивности которого не превышает заданное (критичное) значение;

– получена общая математическая модель (система однородных дифференциальных уравнений) широкополосного источника нелинейных помех, рассеивающая часть которого характеризуется активным входным сопротивлением, а нелинейная часть, представленная в виде импульсного диода, – нелинейной ёмкостью и проводимостью;

– произведена аппроксимация нелинейных ёмкости и проводимости импульсного диода ДЗ11, достаточная для построения численной модели диода в среде LabVIEW.

– на основе математической модели широкополосного источника нелинейных помех получена учитывающая согласование импедансов рассеивающей части и его нелинейной нагрузки численная модель биконического нелинейного рассеивателя с нагрузкой в виде импульсного диода ДЗ11;

– путём численного моделирования определены амплитудные характеристики, а также зависимости нелинейной эффективной поверхности рассеяния на частотах 2-й и 3-й гармоники от величины входного сопротивления диполя;

– путем численного моделирования показана способность биконического нелинейного рассеивателя при воздействии сложного сигнала, в частности ЛЧМ радиоимпульса, сохранять свою структуру в переизлучённом сигнале.

– получены математические модели (системы однородных дифференциальных уравнений) широкополосных источника нелинейных помех, рассеивающая часть которых характеризуется активным входным сопротивлением, а нелинейная часть представляется в виде туннельных диодов ГИ103, 1И104Д или обращённого диода ГИ404;

– произведена аппроксимация нелинейной проводимости туннельных диодов ГИ103, 1И104Д и обращённого диода ГИ404, достаточная для построения численной модели диода в среде LabVIEW.

– на основе математической модели широкополосного источника нелинейных помех получены учитывающие согласование импедансов рассеивающей части и его нелинейной нагрузки численные модели биконических нелинейных рассеивателей с нагрузкой в виде туннельных диодов ГИ103, 1И104Д и обращённого диода ГИ404;

– путем численного моделирования определены амплитудные характеристики биконического нелинейного рассеивателя для указанных туннельных и обращенных диодов и различных значений входного сопротивления биконуса;

– по виду амплитудных характеристик для решения задач калибровки широкополосных нелинейных измерительных стендов подтверждена возможность применения в качестве эталонов биконических нелинейных рассеивателей на туннельных диодах ГИ103, 1И104Д;

– путем численного моделирования определены, амплитудно-частотные и калибровочные характеристики биконического нелинейного рассеивателя на туннельном диоде ГИ103;

– определены требования к входному сопротивлению биконуса и его геометрическим параметрам в зависимости от возможных рабочих параметров нелинейного измерительной установки для организации её калибровки;

– построены математическая и численная модели плоского нелинейного рассеивателя с нагрузкой в виде туннельного диода ГИ103;

– путём численного моделирования определены амплитудно-частотные и калибровочные характеристики плоского нелинейного рассеивателя с нагрузкой в виде туннельного диода ГИ103;

– построены математическая и численная модели источника нелинейных помех на основе дипольного нелинейного рассеивателя с длиной диполя, превышающей длину волны рассеянного сигнала, нагруженного на импульсный полупроводниковый диод ДЗ11, при этом входной импеданс диполя предполагает наличие частотнозависимых активной и реактивной составляющих;

– путём численного моделирования определены амплитудные характеристики источника нелинейных помех на основе дипольного нелинейного рассеивателя для различных частот облучающего гармонического колебания;

– построены математическая и численная модели источника нелинейных

помех на основе дипольного нелинейного рассеивателя, нагруженного на импульсный полупроводниковый диод ДЗ11 и колебательный контур;

– путём численного моделирования определены амплитудные характеристики моделируемого источника нелинейных помех (дипольного нелинейного рассеивателя, нагруженного на импульсный полупроводниковый диод ДЗ11 и колебательный контур) для различных соотношений частоты облучающего гармонического колебания и резонансной частоты контура;

– путём численного моделирования для тонких диполей длиной части 0,85м и 1,65м, нагруженных на полупроводниковый диод, построены диаграммы обратного нелинейного рассеяния для рассеянных сигналов на частотах второй и третьей гармоник в широкой полосе частот сигнала накачки;

– произведён сравнительный анализ диаграмм обратного нелинейного рассеяния от дипольных нелинейных рассеивателей, позволяющий оценить уровень нелинейной помехи на частотах второй и третьей гармоник облучающего колебания в произвольном направлении при заданных параметрах, характеризующих ориентацию диполя относительно фронта волны облучающего колебания.

### **3. Степень достоверности результатов проведенных исследований.**

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается научной методологией исследования; выбором и реализацией комплекса методов, адекватных цели, задачам и логике исследования. Достоверность полученных теоретических результатов подтверждается данными компьютерного моделирования выполненного по средствам программно-вычислительного комплекса LabVIEW с использованием встроенных широко-известных алгоритмов решения системы дифференциальных уравнений. Результаты и выводы, представленные в диссертации, не противоречат известным исследованиям в области радиотехники и радиолокации. Систематической проверкой результатов исследования на научных конференциях различного уровня.

Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры математики, физики и методики обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ивановский государственный университет», (Шуйский филиал), а также на следующих конференциях: XXIII Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии ИСТ-2017» (Нижний Новгород, 2017 г.), III Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения» (г. Санкт-Петербург, 2017г.), XI международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации» (Суздаль, Владимир 2015г.), X Международной научной конференции «Шуйская сессия студентов, аспирантов, педагогов, молодых ученых» (Шуя, 2017г.) и III научно-технической конференции «Радиолокация. Теория и практика» (Нижний Новгород, 2017г.).

Решением конференции «Радиолокация. Теория и практика» от 14.09.2017 г., утверждённым Генеральным директором АО «ФНПЦ «ННИИРТ» Г.А. Егорочкиным, был отмечен доклад по результатам исследований, выполненных с участием Корсакова С.С., «О возможности расчёта амплитудной характеристики биконического нелинейного рассеивателя, нагруженного на полупроводниковый диод».

По результатам исследования опубликованы 6 научных статей в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК и систему РИНЦ: «Проектирование и технология электронных средств», «Наукоёмкие технологии в космических исследованиях Земли», «Вестник НГИЭИ», «Радиотехнические и телекоммуникационные системы», «Датчики и системы».

Получен патент на изобретение (RU 2652150 С2. МПК H01Q 1/00; заявлен 2016.09.07; опубликован 2018.04.25.) «Полосковый мостовой пассивный нелинейный радиоответчик».

**4. Научная новизна диссертационного исследования** состоит в том, что получены следующие существенные результаты:

1. Разработана методика расчёта уровня переизлучаемого поля нелинейной помехи в произвольной точке пространства. В качестве исходных данных методикой используются:

- данные об источнике первичного (облучающего) поля, его удалении от нелинейного рассеивателя их взаимной ориентации и условиях распространения поля;
- сведения о расположении точки пространства, в которой определяется уровень переизлучаемого поля нелинейной помехи, относительно источника нелинейной помехи и условия распространения помехового поля;
- зависимости, характеризующие свойства направленности источника нелинейной помехи на частотах облучаемого и рассеиваемого полей, и его амплитудная характеристика.

2. Решена задача вычисления амплитудной характеристики произвольного источника нелинейных помех в том случае, если известны вольт-амперная и вольт-фарадная характеристики источника нелинейных помех, и значения коэффициента усиления его рассеивающей части на частотах облучающего колебания и помехового сигнала, при этом учитывается согласование его рассеивающей и нелинейной частей, а также наличие частотнозависимых активной и реактивной составляющих импеданса излучения.

**5. Теоретическая значимость исследования заключается в следующем:**

Решена задача исследования пространственных свойств источников нелинейных помех по известным амплитудной характеристике и пространственным характеристикам рассеивающей части. Полученное решение позволяет вычислять пространственно-частотные характеристики нелинейных рассеивателей дипольного типа в широкой полосе частот.

**6. Практическая значимость исследования заключается в следующем:**

Для решения задач калибровки широкополосных нелинейных измерительных стендов разработана конструкция эталона – биконического излучателя, нагруженного на туннельный диод. Определены оптимальные габаритные характеристики излучателя, построены амплитудно-частотные и калибровочные характеристики эталона, а также описана процедура выполнения калибровки.

**7. Ценность научных работ соискателя:**

1. Известные на сегодняшний день модели нелинейных рассеивателей позволяют лишь качественно определять характеристики рассеиваемого поля. Для описания источников вторичных нелинейных помех, требуется создание моделей позволяющих выполнять количественное описание характеристики рассеиваемого поля и обеспечивать:

- возможность описания рассеянного поля в широкой полосе частот;
- возможность описания объектов с размерами рассеивающей части, превышающими длину волны рассеиваемого поля;
- возможность описания свойств рассеянного поля не только в направлении облучения.

2. Для экспериментального исследования свойств источников нелинейных помех необходимо:

- использовать специальные измерительные стенды, обеспечивающие выполнение измерений характеристик рассеиваемого поля не только в направлении облучения, что обусловлено неопределённостью возможного расположения аппаратуры, на которое может оказываться помеховое воздействие со стороны изучаемого объекта;

- описать методику калибровки таких стендов;
- создать эталонные нелинейные рассеиватели, позволяющие выполнять калибровку стендов.

3. На основе процессной модели нелинейного рассеивателя решена задача определения уровня поля нелинейной помехи, переизлучаемой в произвольном направлении при этом:

- импеданс излучателя характеризуется частотнозависимыми активной и реактивной составляющими;
- нагрузка характеризуется вольт-амперной и вольт-фарадной характеристиками;
- учитывается согласование рассеивающей и нелинейной частей.

4. Предложена методика решения задачи вычисления помехового поля, создаваемого помеховым нелинейным рассеивателем в произвольной точке, окружающего пространства на основе использования его процессной модели. Для реализации методики априори должны быть известны:

- параметры источника сигнала, облучающего помеховый нелинейный рассеиватель;

- расстояние от источника сигнала, облучающего помеховый нелинейный рассеиватель, до помехового нелинейного рассеивателя и условия распространения облучающего сигнала на этом пути;
- коэффициент усиления нормированной диаграммы приемной антенны помехового нелинейного рассеивателя на частоте облучающего сигнала;
- амплитудная характеристика помехового нелинейного рассеивателя;
- нормированная диаграмма излучающей антенны помехового нелинейного рассеивателя на частоте переизлученного помехового сигнала;
- направление от помехового нелинейного рассеивателя на точку пространства, в которой определяются параметры помехового сигнала, расстояние до указанной точки от помехового нелинейного рассеивателя и условия распространения помехового сигнала на этом пути.

5. На основе разработанной численной модели широкополосного источника нелинейных помех, учитывающей процессы согласования импедансов рассеивающей части и нелинейной нагрузки, определены амплитудные характеристики биконического диполя, нагруженного на импульсный диод.

6. Для решения задач калибровки широкополосных нелинейных измерительных стендов разработана модель эталонного биконического излучателя, нагруженного на туннельный диод (ГИ103, 1И104Д). Определены оптимальные габаритные характеристики излучателя, построены амплитудно-частотные и калибровочные характеристики эталона, описана методика калибровки.

7. Разработаны численные модели и определены амплитудные и амплитудно-частотные характеристики узкополосных источников нелинейных помех в виде длинных тонких диполей, нагруженных на импульсный диод, либо на диод и колебательный контур.

8. Решена задача исследования пространственных свойств нелинейных рассеивателей по известным амплитудной характеристике и пространственным свойствам рассеивающей части. Полученное решение позволяет вычислять пространственно-частотные характеристики нелинейных рассеивателей дипольного типа в широкой полосе частот.

9. Произведены построение и сравнительный анализ диаграмм обратного нелинейного рассеяния от дипольных нелинейных рассеивателей, позволяющие оценить уровень нелинейной помехи на частотах второй и третьей гармоник сигнала накачки в произвольном направлении при заданных параметрах, характеризующих ориентацию диполя относительно фронта волны сигнала накачки.

Целью дальнейших исследований является создание численных моделей источников нелинейных помех, предполагающих более сложную конструкцию нагрузки, содержащую произвольное количество сосредоточенных нелинейностей. Дальнейшие исследования могут быть основаны на изложенных в данной работе методиках.

## **8. Специальность, которой соответствует диссертация.**

По своему научному содержанию диссертация Корсакова Сергея Сергеевича «Моделирование свойств помеховых нелинейных рассеивателей» соответствует специальности: 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

## **9. Полнота изложения материалов диссертации в работах автора**

Все основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, входящих в перечень Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации и систему РИНЦ:

1. Бабанов, Н.Ю. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на дипольных вибраторах с нелинейной нагрузкой/ Н.Ю.Бабанов, С.С.Корсаков, С.В.Ларцов// Научноёмкие технологии в космических исследованиях Земли. – Т.9, №6. – 2017г. – С. 36-43;

2. Бабанов, Н.Ю. О расчете амплитудной характеристики биконического нелинейного рассеивателя, нагруженного на полупроводниковый диод / Н.Ю.Бабанов, С.С.Корсаков, С.В.Ларцов, А.В.Николаев, В.П. Самарин // Проектирование и технология электронных средств. - №1. – 2018. - С.18-26;

3. Корсаков, С.С. О расчёте амплитудной характеристики дипольного нелинейного рассеивателя с селективной схемой / С.С.Корсаков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. - N4. – 2018. – С.67-75.

4. Бабанов, Н.Ю. О свойствах параметрического рассеивателя, необходимых для решения задач маркировки / Н.Ю.Бабанов, А.С.Корсаков, С.С.Корсаков, С.В.Ларцов // Вестник НГИЭИ. - N2(57). - 2016. - С.15-21.

5. Бабанов, Н.Ю. Измерение параметров радиолокационных целей с нелинейными электромагнитными свойствами методом замещения / Н.Ю.Бабанов, С.С.Корсаков, С.В.Ларцов, А.В.Николаев, В.П.Самарин // Датчики и системы. – №2. – 2019. – С.31-39.

6. Бабанов, Н.Ю. Об экспериментальном измерении уровня интенсивности вторичных нелинейных помех от электронных устройств с полупроводниковыми элементами / Н.Ю.Бабанов, С.В.Ларцов, С.С.Корсаков // Научноёмкие технологии в космических исследованиях Земли. – Т.11, №3. – 2019г. – С. 12-21.

Получен патент на изобретение (RU 2652150 С2. МПК H01Q 1/00; заявлен 2016.09.07; опубликован 2018.04.25.) «Полосковый мостовой пассивный нелинейный радиоответчик».

На международных и всероссийских научных конференциях докладывались результаты следующих исследований:

7. Бабанов, Н.Ю. О возможности расчёта амплитудной характеристики биконического нелинейного рассеивателя, нагруженного на полупроводниковый диод / Н.Ю.Бабанов, С.С.Корсаков, С.В.Ларцов, А.В.Николаев, В.П.Самарин // III научно-техническая конференция «Радиолокация. Теория и практика», АО «ФНПЦ «ННИИРТ», Нижний Новгород, 13-14 сентября 2017г., Стр. 86-89;

8. Бабанов, Н.Ю. Использование фазовых свойств нелинейных рассеивателей для компенсации аппаратных помех. / Н.Ю.Бабанов,



С.С.Корсаков, С.В.Ларцов // Информационные системы и технологии ИСТ-2017. Материалы XXIII Международной научно-технической конференции.- Нижний Новгород: НГТУ, 2017., Стр. 1041-1045;

9. Бабанов, Н.Ю. Моделирование рассеяния электромагнитных волн на дипольных вибраторах с нелинейной нагрузкой / Н.Ю.Бабанов, С.С.Корсаков, С.В.Ларцов // III Всероссийская научно-техническая конференция «Теоретические и прикладные проблемы развития и совершенствования автоматизированных систем управления военного назначения». г.Санкт-Петербург, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, 22 ноября 2017г., Стр. 76-78;

10. Корсаков, С.С. Моделирование пространственных свойств диполей при воздействии бигармоническим сигналом / С.С.Корсаков // X Международная научная конференция «Шуйская сессия студентов, аспирантов, педагогов, молодых ученых», г. Шуя, 7-8 июня 2017г., Стр. 191-193.

Отчёт о результатах проверки текста диссертации на предмет неправомерных заимствований, выполненной посредством сервиса «Антиплагиат» <http://users.antiplagiat.ru>, показал: заимствования - 10,54%; цитирования - 0%; оригинальность - 89,46%.

#### 10. Рекомендация к защите

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Корсакова Сергея Сергеевича «Моделирование свойств помеховых нелинейных рассеивателей» соответствует специальности: 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и рекомендуется к защите в Диссертационном совете Д 212.025.04 при Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры математики, физики и методики обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ивановский государственный университет», Шуйский филиал. Присутствовало на заседании 10 человек, в том числе четверо докторов технических наук.

Результаты голосования: «за» - 10 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 6, от «20» июня 2019 г.

Доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой математики, физики и методики обучения ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет», Шуйский филиал

Кашицын А.С.  
*Полное* *Заведующий* *А.С.*  
**ВЕРЯЮ**  
Ивановский государственный университет  
Шуйский филиал

Адрес организации: Ивановская обл., г. Шуя, ул. Кооперативная, д. 24; ауд. 216;  
Телефон: 8 (49351) 3-09-86; e-mail: [innovacia-sgru@mail.ru](mailto:innovacia-sgru@mail.ru).