

УТВЕРЖДАЮ

Ректор, д.т.н., профессор

Дмитриев Сергей Михайлович

«02» сентября 2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»

Диссертация «Анализ, моделирование и синтез конструкций пассивных нелинейных и параметрических рассеивателей» выполнена на кафедре «Информационные радиосистемы» Института радиоэлектроники и информационных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

В период подготовки соискатель Бабанов Николай Юрьевич работал в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» в должности проректора по научной работе.

В 1980 году Бабанов Н.Ю. окончил Горьковский государственный университет им. Н.И.Лобачевского по специальности «Радиофизика и электроника».

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиолокация и радионавигация» на

спецтему защитил в совете при Нижегородском государственном техническом университете в 1991 году.

Научный консультант – д.т.н., профессор Ларцов Сергей Викторович работает ведущим научным сотрудником управления научно-исследовательских и инновационных работ Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

По результатам рассмотрения диссертации «Анализ, моделирование и синтез конструкций пассивных нелинейных и параметрических рассеивателей» принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы. Диссертационная работа Бабанова Николая Юрьевича, представленная на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Анализ, моделирование и синтез конструкций пассивных нелинейных и параметрических рассеивателей» является законченным научным исследованием. По актуальности темы, научной новизне, практической и теоретической значимости работа полностью соответствует предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842.

Личное участие соискателя в получении результатов. Все выносимые на защиту результаты и положения, составляющие основное содержание диссертационной работы, разработаны и получены лично автором или при его непосредственном участии. В большинстве работ опубликованных в соавторстве соискателю принадлежит ведущая роль при постановке задач и их исследовании. К числу значимых результатов полученных лично автором следует отнести:

- процессную модель пассивного нелинейного радиоответчика, позволяющую определить зависимости, характеризующие их свойства, методы

экспериментального измерения указанных характеристик, пути оптимизации структуры таких радиоответчиков;

- методы моделирования пассивных нелинейных радиоответчиков (двухполюсников и четырехполюсников), базирующиеся на процессной модели и анализе их эквивалентных схем;

- теорию синхронизации параметрических рассеивателей;

- методики измерений параметров пассивных нелинейных радиоответчиков;

- натурные и модельные исследования свойств различных типов одиночных параметрических рассеивателей и систем из них;

- конструкции пассивных нелинейных радиоответчиков-нелинейных рассеивателей и систем из них, используемых для антенных измерений, измерения структуры электромагнитного поля, маркировки объектов, как датчики среды, в качестве электронного номера.

Роль Бабанова Н.Ю. в постановке задач, выдвижении идей, разработке основных положений, обосновании решений и научных рекомендаций носит определяющий характер.

Степень достоверности и обоснованности научных положений результатов проведенных исследований, рекомендаций и выводов

Теоретические положения диссертационного исследования основываются на использовании теории радиотехнических систем, теории распространения радиоволн, теории нелинейных электрических цепей, а также на использовании методов экспериментального анализа и статистической обработки результатов эксперимента, методов математического моделирования.

Достоверность и обоснованность результатов обеспечены строгими математическими преобразованиями и экспериментальной проверкой; подтверждены сопоставлением результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, полученными путем моделирования и натурных испытаний.

Результаты согласуются с современными научными представлениями и данными, полученными при обзоре отечественных и зарубежных источников, а также подтверждаются их представительным обсуждением при публикации в научных изданиях, в том числе в научных изданиях, входящих в перечень, рекомендуемый ВАК. Достоверность полученных результатов подтверждена наличием действующих патентов на изобретения.

Основные положения диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях, включая международные.

С учетом опыта практического применения отдельных результатов диссертации, можно сделать вывод о том, что проведенные исследования и полученные на их основе научные положения, выводы и рекомендации теоретически обоснованны и достоверны.

Новизна проведенных исследований

Новизна состоит, прежде всего, в построении общей теории пассивных нелинейных радиоответчиков в виде нелинейных или параметрических рассеивателей, позволяющей проводить анализ протекающих процессов, дать интерпретацию наблюдаемых свойств, определить подходы к синтезу и конструированию таких радиоответчиков, выделить факторы и пути повышения эффективности их применения. Кроме этого, в диссертационной работе на основе математического моделирования и натуральных экспериментов изучены свойства пассивных нелинейных радиоответчиков, исследованы проблемы приема сигналов от них, связанные с наличием когерентных помех от помеховых нелинейных рассеивателей, проведена модернизация существующих и предложены новые методы инструментальных измерений параметров и настройки таких ответчиков. Теоретическую значимость имеет и предложенная процессная модель пассивного нелинейного радиоответчика, с помощью которой доказано, что эффективность систем радиомаркировки, использующих пассивные нелинейные и параметрические рассеиватели может быть повышена на основе учета их свойств. Также разработана теория формиро-

вания ответного когерентного сигнала от параметрического рассеивателя на основе использования явления синхронизации.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

Практическая значимость диссертационной работы состоит в системном подходе к вопросу использования пассивных нелинейных и параметрических рассеивателей в задачах радиомаркировки, а также в разработанных способах и алгоритмах применения таких рассеивателей при обозначении путей следования, проходов, фарватеров, поиске жертв стихийных бедствий и катастроф, дистанционной идентификации грузов. В работе представлен ряд новых конструкций пассивных нелинейных радиоответчиков и систем их них, в том числе нелинейных рассеивателей-маркеров в виде четырехполюсников, нелинейных радиоответчиков, применяемых в качестве электронного номера, параметрических рассеивателей - датчиков среды, параметрических рассеивателей с расширенной частотной полосой, параметрических рассеивателей с нелинейным способом синхронизации, одноконтурных и двухконтурных параметрических рассеивателей – маркеров в виде четырехполюсников, отражательных решеток из нелинейных и параметрических рассеивателей.

Теоретические и прикладные результаты диссертационной работы внедрены в Федеральном государственном унитарном предприятии «Федеральный научно-производственный центр научно-исследовательский институт измерительных систем им.Ю.Е.Седакова», Федеральном государственном унитарном предприятии «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», Нижегородском военном институте инженерных войск (филиале) Федерального государственного военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военная академия войск радиационной, химической и биологической защиты и инженерных войск». Внедрение подтверждается актами, приложенными к диссертации.

Ценность научных работ соискателя. В диссертационном исследовании разработаны методы и алгоритмы анализа и моделирования пассивных нелинейных ответчиков – нелинейных и параметрических рассеивателей; создана методика проведения экспериментальных исследований их свойств; разработаны и апробированы новые конструкции таких рассеивателей и систем из них, применительно к решению ряда прикладных задач.

Проведенные диссертационные исследования важны, поскольку не только систематизируют уже известные методы и алгоритмы, но и позволяют представить новые решения, имеющие большое значение для практики. Представленная тематика имеет существенное научное и народно-хозяйственное значение, поскольку затрагивает вопросы, связанные с применением систем маркировки при решении таких важных задач как поисковые работы при природных и техногенных катастрофах, скрытное обозначение проходов и фарватеров, дистанционный контроль за перемещением объектов, оборудованных специальными маркерами и т.д.

Основными научными результатами исследований являются:

1. Разработана процессная модель пассивного нелинейного радиоответчика, позволившая на основе ее анализа: описать характеристики такого радиоответчика; определить конструкции пассивных нелинейных радиоответчиков; определять с помощью преобразования измеренных или рассчитанных амплитудных характеристик радиомаркеров зависимости, характеризующие эффективность их применения.
2. Введено уточненное определение амплитудной характеристики пассивного нелинейного радиоответчика как зависимости уровня волны ответного сигнала, под которым понимается информативная составляющая в спектре рассеянного сигнала, от величины интенсивности волны запросного сигнала, облучающей пассивный нелинейный радиоответчик, определенной на фиксированном расстоянии от него.

3. Определены факторы, позволяющие повысить эффективность систем радиомаркировки, использующих пассивные нелинейные радиоответчики на основе учета их амплитудных и фазовых свойств, в частности, предложено формировать запросный сигнал в виде серий или групп серий из последовательностей радиоимпульсов с равной амплитудой, изменяя амплитуду сигнала накачки при переходе от серии к серии или от одной группы серий к другой группе серий.
4. Создана теория синхронизации ответного сигнала в параметрических рассеивателях, в рамках которой показано, что для организации устойчивого формирования когерентных радиоимпульсов ответного сигнала, переизлученных от параметрического рассеивателя, необходимо кроме радиоимпульсов сигнала накачки облучать параметрический рассеиватель волной синхронизирующего сигнала с частотой ответного сигнала, при этом необходимо обеспечить условия, при которых фаза радиоимпульсов ответного сигнала и фаза радиоимпульсов синхронизирующего сигнала не находятся в квадратуре; показано, что задача приема когерентной последовательности ответного сигнала от параметрического рассеивателя, полученной изложенным выше образом, сводится к задаче применения стандартных оптимальных методов приема при одновременной компенсации указанных синхронизирующих радиоимпульсов, являющихся когерентной помехой радиоприему; предложены методы компенсации этой помехи при обработке; показано, что возможны формирование в параметрическом рассеивателе и реализация когерентного накопления ответного сигнала в приемном устройстве при использовании в качестве сигнала накачки линейно-частотно-модулированных радиоимпульсов; показано, что при реализации когерентного накопления ответного сигнала при облучении двухконтурного параметрического рассеивателя могут возникать комбинационные нелинейные помехи, являющиеся когерентной помехой радиоприему, предложены методы компенсации или ослабления

этой помехи; предложен нелинейный метод формирования синхронизирующего сигнала.

5. Показано, что на основе упорядоченных структур из параметрических рассеивателей могут быть сформированы отражательные решетки с повышенным уровнем ответного сигнала и заданной формой диаграммы обратного нелинейного рассеяния, в частности, не содержащей глубоких нулей.
6. На основе взаимодействия процессной модели и анализа эквивалентной схемы параметрического рассеивателя разработаны математические модели, с помощью которых осуществлено численное моделирование реакции параметрических рассеивателей разных типов (дипольного одногенераторного параметрического рассеивателя, дипольного двухгенераторного параметрического рассеивателя, мостового параметрического рассеивателя, двухгенераторного параметрического рассеивателя - четырехполюсника, двухконтурных параметрических рассеивателей) на запросный сигнал.
7. Разработаны конструкции измерительных стендов, методики проведения экспериментов и экспериментально исследованы свойства вновь предложенных конструкций параметрических рассеивателей; обнаружено, что снижение температуры окружающей среды приводит к изменению порога возбуждения и сужению полосы генерации субгармонического параметрического рассеивателя с сохранением центральной частоты полосы генерации; показано, что свойства субгармонических параметрических рассеивателей с «закрытым» резонатором аналогичны свойствам субгармонических параметрических рассеивателей с «открытым» резонатором; обнаружено, что амплитудная характеристика субгармонического параметрического рассеивателя может иметь две области: генерации субгармоники и генерации шумового колебания во всей рабочей полосе частот генерации ответного сигнала;

8. Предложены новые, защищенные патентами, конструкции пассивных нелинейных ответчиков - нелинейных и параметрических рассеивателей и систем из них.
9. Предложены новые, защищенные патентами, методы применения пассивных нелинейных ответчиков - нелинейных и параметрических рассеивателей, позволяющие исследовать пространственную структуру распределения электромагнитных полей на основе формирования матрицы из нелинейных рассеивателей, имеющих в своем составе фотодиод; измерять бесфидерным способом эффективную площадь антенны на основе включения данной антенны в состав пассивного нелинейного маркера, у которого в амплитудной характеристике содержится особая точка, например, экстремум или скачок; использовать параметрический рассеиватель в качестве электронного идентификатора или пломбы.
10. Проведен анализ перспективных направлений применения систем радиомаркировки, использующих пассивные нелинейные и параметрические рассеиватели в задачах обозначения маршрутов на основе одновременного использования в качестве пассивных нелинейных радиоответчиков круговых структур из субгармонических нелинейных рассеивателей и методов формирования последовательностей радиоимпульсов ответного сигнала с детерминированным законом изменения фазы; в задачах маркировки индивидуальных средств спасения пострадавших при природных и техногенных катастрофах.

Специальность, которой соответствует диссертация. Диссертация соответствует формуле специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Основные результаты диссертации опубликованы в 73 отечественных и зарубежных работах, в том числе в 17 статьях в журналах, рекомендованных ВАК (включая журналы «Радиотехника и электроника», «Системы управления и информационные технологии», «Известия вузов -

Радиофизика», «Радиотехника», «Проектирование и технология электронных средств»); в 16 патентах РФ. Результаты диссертации прошли апробацию на 21 Международной и Российской конференциях (опубликовано 29 докладов и тезисов докладов).

Автором самостоятельно опубликовано в периодических научных журналах 4 статьи (из них 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК), 1 статья в межвузовском сборнике. Он является единоличным автором 3 патентов.

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

- 1) Агрба Д.Ш., Бабанов Н.Ю., Бычков О.Н., Васенкова Л.В., Горбачев А.А., Ларцов С.В., Тараканков С.П., Чигин Е.П. Нелинейные рассеиватели как средства маркировки / Радиотехника.- 1998.- №10.- С. 96-100.
- 2) Бабанов Н.Ю., Горбачев А. А., Ларцов С. В., Тараканков С.П., Чигин Е.П. Об использовании эффекта нелинейного рассеяния радиоволн при поиске терпящих бедствие на воде / Радиотехника и электроника.- 2000.- Т. 45.-№6,-С. 676-680.
- 3) Бабанов Н.Ю., Горбачев А.А., Ларцов С.В., Тараканков С.П., Чигин Е.П. Использование эффекта нелинейного рассеяния радиоволн при поиске терпящих бедствие на воде / Нелинейный мир.- 2006.- т.4.- №7-9.- С. 501-505.
- 4) Агрба Д.Ш., Бычков О.Н., Васенкова Л.В., Горбачев А.А., Ларцов С.В., Тараканков С.П., Чигин Е.П. Нелинейные рассеиватели как средства маркировки объектов / Нелинейный мир.- 2007.- т.5 .- №7-8.- С.445-450.
- 5) Бабанов Н.Ю.,Ларцов С.В.,Тараканков С.П.,Чигин Е.П. О возможности использования боковых волн при нелинейном зондировании / Нелинейный мир.- 2008.- т.6.- №11-12.- С.635-638.
- 6) Бабанов Н.Ю., Корсаков А.С., Ларцов С.В. Экспериментальное исследование амплитудно-частотных свойств субгармонических рассеивателей / Проектирование и технология электронных средств.- 2008.- №3.- С. 18-26.

- 7) Бабанов Н.Ю., Ларцов С.В. Необходимые характеристики для описания пространственных свойств простых нелинейных рассеивателей / Радиотехника.- 2009.- №5.- С. 34-39.
- 8) Бабанов Н.Ю., Корсаков А.С., Ларцов С.В. Использование решеток из параметрических нелинейных рассеивателей в качестве маркероответчиков / Проектирование и технология электронных средств.- 2009.- №2.- С. 18-26.
- 9) Бабанов Н.Ю. Возможные конструкции отражательных решеток из нелинейных и параметрических рассеивателей / Вестник ННГУ им. Н.И.Лобачевского.- 2010.- №6.- С. 59-67.
- 10) Бабанов Н.Ю. О когерентном накоплении при приеме сигналов от параметрических рассеивателей / Вестник ННГУ им. Н.И.Лобачевского.- 2011.- №6.- ч.1.- С. 82-92.
- 11) Бабанов Н.Ю., Корсаков А.С., Ларцов С.В. О возможности использования параметрических рассеивателей для разметки путей следования и фарватеров / Проектирование и технология электронных средств.- 2011.- №4.- С. 2-12.
- 12) Бабанов Н.Ю., Ключев А.В., С.В.Ларцов, В.П.Самарин Использование параметрических рассеивателей для маркировки индивидуальных средств спасения, терпящих бедствие на воде / Проектирование и технология электронных средств. – 2014.- №1.-С. 47-54.
- 13) Бабанов Н.Ю., Ларцов С.В. Об измерениях характеристик, необходимых при конструировании пассивных нелинейных радиоответчиков / Датчики и системы.-2014.-№9.- С. 20-25.
- 14) Бабанов Н.Ю. О механизмах синхронизации систем из параметрических рассеивателей / Системы управления и информационные технологии.- 2014.-№3.1(57).- С. 109-112.
- 15) Бабанов Н.Ю., Ключев А.В., Ларцов С.В., Самарин В.П. Моделирование процессов переизлучения на частоте половинной субгармоники сигнала

накачки в одноконтурном параметрическом рассеивателе / Известия высших учебных заведений. Радиофизика.- 2015.- №4.- С. 326-337

- 16) Бабанов Н.Ю., Ключев А.В., Ларцов С.В. Экспериментальные исследования параметрических рассеивателей / Проектирование и технология электронных средств. – 2015.- №1.- С. 47-50.
- 17) Бабанов Н.Ю., Ключев А.В., Ларцов С.В., Самарин В.П. Моделирование мостового параметрического рассеивателя / Проектирование и технология электронных средств.- 2015.- №2.- С. 15-20

Патенты

- 18) Бабанов Н.Ю., Горбачев, А.А., Ларцов С.В. Устройство для регистрации пространственного распределения электромагнитного поля / А. С. СССР.- N1392517.- 1986.- "Бюллетень изобретений".- 1988.- N16.
- 19) Бабанов Н.Ю., Горбачёв П.А., Ларцов С.В., Тараканков С.П. Бесфидерный способ измерения эффективной площади антенны, авторы // Решение ВНИИГПЭ о выдаче авторского свидетельства ф. N 1/9 от 28.06.1990 по заявке N 4600750/24-09 /122839.
- 20) Бабанов Н.Ю., Корсаков А.С., Ларцов С.В., Ларцов И.С. Групповой параметрический рассеиватель / Патент Российской Федерации на полезную модель №90222.- Бюллетень №36 от 27.12.2009.
- 21) Бабанов Н.Ю., Корсаков А.С., Ларцов С.В., Ларцов И.С. Способ обнаружения параметрических рассеивателей / Патент Российской Федерации на изобретение RU 2408033C1 по заявке №2009118069 от 12.03.2009.- Бюллетень №36 от 27.12.2010.
- 22) Бабанов Н.Ю., Корсаков А.С., Ларцов И.С., Ларцов С.В. Способ обнаружения одноконтурных параметрических рассеивателей / Патент Российской Федерации на изобретение RU 2413242C2 по заявке 2009118092 от 12.05.2009.- Бюллетень №6 от 27.02.2011.
- 23) Бабанов Н.Ю., Ларцов С.В., Ларцов И.С. Способ и устройство маркировки объектов при помощи электронного номера – пломбы, осуществ-

ляющей информационный обмен со считывающим устройством с использованием секретного кодирования на основе асимметричных ключей / Патент Российской Федерации на изобретение RU 2408896 C1 по заявке 2009129170 от 28.07.2009.- Бюллетень №1 от 01.01.2011.

- 24) Бабанов Н.Ю., Ларцов И.С., Ларцов С.В. Нелинейный параметрический рассеиватель - пассивный датчик / Патент Российской Федерации на изобретение RU 2418304C1 по заявке 2009134375 от 14.09.2009.- Бюллетень №13 от 10.05.2011.
- 25) Бабанов Н.Ю., Колтин М.А., Ларцов С.В., Пужайло А.Ф., Спиридович Е.А., Червова А.А. Способ обнаружения маркеров - параметрических рассеивателей / Патент Российской Федерации на изобретение RU 2441253C1 по заявке 2010127129 от 01.07.2010.- Бюллетень №3 от 27.01.2012.
- 26) Бабанов Н.Ю., Корсаков А.С., Ларцов С.В., Ларцов И.С. Способ обнаружения двухконтурных параметрических рассеивателей / Патент Российской Федерации на изобретение RU 2455659C1 по заявке №2010136607 от 15.02.2011.- Бюллетень №19 от 10.07.12.
- 27) Бабанов Н.Ю., Ларцов С.В. Параметрический рассеиватель – маркер с нелинейным формированием синхросигналов / Патент Российской Федерации на изобретение RU 2507537 по заявке № 2011105670 от 13.06.2012.- Бюллетень №5 от 20.02.2014.
- 28) Бабанов Н.Ю. Двухконтурный параметрический рассеиватель / Патент Российской Федерации на изобретение №2491573 по заявке №2012111797 от 27.03.2012.- Бюллетень №24 от 27.08.13.
- 29) Бабанов Н.Ю., Ларцов С.В. Маркер-субгармонический параметрический рассеиватель / Патент Российской Федерации на изобретение №2496123 по заявке №2012111796 от 27.03.2012.- Бюллетень №29 от 20.10.13.

- 30) Бабанов Н.Ю., Ларцов С.В. Способ обнаружения объектов, содержащих нелинейные элементы / Патент Российской Федерации на изобретение №2498341 по заявке №2012121377 от 23.05.2012.- Бюллетень №31 от 10.11.13.
- 31) Бабанов Н.Ю. Способ обнаружения объектов, маркированных параметрическими рассеивателями / Патент Российской Федерации на изобретение RU 2487366 по заявке № 2011128511 от 03.07.2012.- Бюллетень №19 от 10.07.2013.
- 32) Бабанов Н.Ю. Способ обнаружения одноконтурных параметрических рассеивателей с нелинейным формированием синхронизирующего сигнала / Патент Российской Федерации на изобретение №2496122 по заявке №2011105671 от 15.02.2011.- Бюллетень №29 от 20.10.13.
- 33) Бабанов Н.Ю., Куликов А.А., Ларцов С.В. Субгармонический параметрический рассеиватель / Патент Российской Федерации на изобретение №2495450 по заявке №2012111791 от 27.03.2012.- Бюллетень №28 от 10.10.13.
- 34) Бабанов Н.Ю., Ларцов С.В. Обнаружитель объектов, содержащих нелинейные элементы / Патент Российской Федерации на изобретение №2513712 по заявке №2012121521 от 24.05.2012.- Бюллетень №11 от 20.04.2014.
- 35) Бабанов Н.Ю., Клюев А.В., Ларцов С.В., Самарин В.П. Способ обнаружения широкополосных параметрических рассеивателей/ Патент Российской Федерации на изобретение №2532258 по заявке 2013135592 от 29.07.2013.- опубликовано 10.11.2014 Бюллетень № 31 от 10.11.14.

В опубликованных работах достаточно полно отражены основные положения диссертационного исследования. Вклад диссертанта в результаты большинства работ является определяющим.

Диссертация “Анализ, моделирование и синтез конструкций пассивных нелинейных и параметрических рассеивателей” Бабанова Николая Юрьевича

рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Заключение обсуждено и принято на объединенном заседании кафедр «Информационные радиосистемы», «Электроника и сети ЭВМ», «Компьютерные технологии в проектировании и производстве», «Информатика и системы управления» Института радиоэлектроники и информационных технологий и «Физика и техника оптической связи» Института ядерной энергетики и технической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

Директор ИРИТ

К.т.н., доцент

Профессор кафедры

«Информационные радиосистемы»

д.т.н., профессор



В.Г.Баранов



А.Д.Плужников