

**Решение**  
**диссертационного совета Д 212.079.09 по защите**  
**диссертации Фасхутдинова Ленара Маликовича**  
**на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности**  
**05.11.13-Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий**

Протокол № 10 от 23.11.2018 г.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 26 человек. Присутствовали на заседании 18 человек.

***Председатель:*** д-р техн. наук, профессор Евдокимов Юрий Кириллович

***Присутствовали:*** д-р техн. наук, профессор Евдокимов Юрий Кириллович (председатель), д-р техн. наук, профессор Афанасьев Вадим Владимирович (зам. председателя), канд. техн. наук Денисов Евгений Сергеевич (ученый секретарь), д-р техн. наук, доцент Анфиногентов Владимир Иванович, д-р техн. наук, доцент Гизатуллин Зиннур Марселевич, д-р техн. наук, профессор Ильин Герман Иванович, д-р техн. наук, профессор Даутов Осман Шакирович, д-р техн. наук, профессор Морозов Геннадий Александрович, д-р техн. наук, профессор Морозов Олег Геннадьевич, д-р техн. наук, профессор Данилаев Максим Петрович, д-р техн. наук, профессор Седельников Юрий Евгеньевич, д-р физ.-мат. наук, профессор Нигматуллин Равиль Рашидович, д-р техн. наук, профессор Файзуллин Рашид Робертович, д-р техн. наук, доцент Нуреев Ильнур Ильдарович, д-р техн. наук, доцент Логинов Сергей Сергеевич, д-р техн. наук, профессор Чабдаров Шамиль Мидхатович, д-р техн. наук, профессор Чермошенцев Сергей Федорович, д-р техн. наук, профессор Исрафилов Ирек Хуснемарданович.

***Слушали:*** Защиту диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Фасхутдинова Ленара Маликовича на тему: «Формирователи полигармонического зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции оптической несущей» по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

***Научный руководитель*** – Нуреев Ильнур Ильдарович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Радиофотоники и микроволновых технологий ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

***Ведущая организация*** - ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Самара. Заключение подписано Бурдиным Владимиром Александровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Линии связи и измерения в технике связи»; и Дашковым Михаилом Викторовичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры «Линии связи и измерения в технике связи»; утверждено Осиповым Олегом Владимировичем, доктором физико-математических наук, доцентом, проректором по науке и инновациям.

*Официальные оппоненты:*

1. Багманов Валерий Хусаинович - доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», кафедра «Телекоммуникационные системы», профессор и ведущий научный сотрудник, г Уфа.

2. Грачев Владимир Александрович - кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кафедра «Физика и техника оптической связи», доцент, г. Нижний Новгород.

*Отзывы на автореферат поступили от:*

1. АО «Казанское приборостроительное конструкторское бюро», г. Казань, подписанный заместителем начальника управления электронной аппаратуры, кандидатом технических наук Кадушкиным В.В.

2. Институт систем обработки изображений РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук», подписанный руководителем ИСОИ РАН, доктором физико-математических наук Казанским Н.Л.

3. ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, подписанный доцентом кафедры «Радиотехники и связи», кандидатом технических наук Павловым В.В.

4. ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, подписанный заведующим кафедрой Оптико-электронных систем, профессором, доктором физико-математических наук Самохваловым И.В.

5. ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», г. Пермь, подписанный заместителем директора НТЦ – начальником управления волоконно-оптических компонентов – главным конструктором, кандидатом технических наук, Шевцовым Д.И.

6. Федеральное агентство связи Колледж телекоммуникаций ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (КТ МТУСИ), г. Москва, подписанный директором по учебно-производственной работе, кандидатом технических наук Алюшиной С.Г.

7. ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, подписанный доцентом кафедры Физика твердого тела, заместителем директора института Интегральной оптики и нанотехнологий, кандидатом физико-математических наук, Пономаревым Р.С.

8. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», подписанный заведующим кафедрой Физика и техника оптической связи, доктором физико-математических наук, профессором Раевским А.С.

Все отзывы положительные.

*Вопросы задали:*

д-р. техн. наук, профессор Морозов О.Г.; д-р техн. наук, профессор Афанасьев В.В.; д-р техн. наук, доцент Логинов С.С.; д-р техн. наук, профессор Данилаев М.П.; канд. техн. наук Денисов Е.С.; д-р техн. наук, профессор Файзуллин Р.Р.

*Выступили:*

д-р. техн. наук, профессор Морозов О.Г.; д-р техн. наук, профессор Ильин Г.И.; д-р техн. наук, профессор Евдокимов Ю.К.

***Постановили:***

1. Диссертация Фасхутдинова Л.М. представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в котором решена актуальная задача улучшения метрологических и тактико-технических характеристик формирователей полигармонического зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием, на основе применения тандемного амплитудно-фазового модуляционного преобразования оптической несущей, что соответствует паспорту специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» и требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

На заседании 23 ноября 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Фасхутдинову Л.М. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 18, «против» – нет, недействительных бюллетеней - нет.

2. Принять заключение диссертационного совета Д 212.079.09 в соответствии с п. 32 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», результаты открытого голосования: «за» – 18 человек, «против» – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель диссертационного совета



Ю.К. Евдокимов

Ученый секретарь диссертационного совета



Е. С. Денисов

« 23 » ноября 2018 г.

## **Заключение**

диссертационного совета Д 212.079.09 на базе  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева – КАИ»  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета

от 23.11.2018 года, протокол № 10

О присуждении Фасхутдинову Ленару Маликовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Формирователи полигармонического зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции оптической несущей» по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», принята к защите 31 августа 2018 г., протокол № 4, диссертационным советом Д 212.079.09 на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д 10, приказ № 88/нк от 9 февраля 2015 года.

Соискатель, Фасхутдинов Ленар Маликович, 1991 года рождения, в 2015 году с отличием окончил магистратуру ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» по направлению 11.04.01 – «Радиотехника».

С 2015 года по настоящее время является аспирантом четвертого года обучения очной аспирантуры на кафедре Радиофотоники и микроволновых технологий ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Работает на кафедре Радиофотоники и микроволновых технологий ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» в должности ассистента.

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» на кафедре

Радиофотоники и микроволновых технологий.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Нуреев Ильнур Ильдарович, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», кафедра Радиофотоники и микроволновых технологий, профессор.

Официальные оппоненты:

- Багманов Валерий Хусаинович - доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», кафедра «Телекоммуникационные системы», профессор и ведущий научный сотрудник;
- Грачев Владимир Александрович - кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кафедра «Физика и техника оптической связи», доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Самара, в своем положительном заключении, подписанном Бурдиным Владимиром Александровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Линии связи и измерения в технике связи»; и Дашковым Михаилом Викторовичем, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом кафедры «Линии связи и измерения в технике связи»; утвержденном Осиповым Олегом Владимировичем, доктором физико-математических наук, доцентом, проректором по науке и инновациям, указала, что диссертационная работа соответствует заявленной специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, является завершенным, методически грамотно изложенным научным исследованием, в котором поставлена и решена актуальная научная проблема улучшения метрологических и технико-экономических характеристик электрооптических формирователей зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием для волоконно-оптических измерительных систем и подсистем мониторинга телекоммуникационных систем, а ее автор, Фасхутдинов

Ленар Маликович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ по теме диссертации, из них в журналах, включенных в Перечень ВАК по специальности 05.11.13 – 2, в других журналах, включенных в Перечень ВАК – 5; статей в изданиях, цитируемых в базах данных Scopus/WoS – 6; в журналах, индексируемых РИНЦ – 1; в реферируемых трудах и сборниках докладов международных конференций – 11; а также 5 патентов РФ; авторский вклад – 6,4 п.л. (37 %).

Наиболее значимые публикации:

1. Фасхутдинов, Л.М. Модуляционные методы формирования спектрально чистого двухканального полигармонического излучения с одинаковой разностной частотой и поляризационным мультиплексированием. Экспериментальные результаты [Электронный ресурс] / Л.М. Фасхутдинов // Инженерный Вестник Дона. - 2017. - Т. 47, № 4 // URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4578> (дата обращения: 24.05.2018).

Содержит основные результаты, изложенные в первой и второй главах диссертации (объем – 1,25 п.л., личный вклад – 100%).

2. Морозов, О.Г. Модуляционные методы формирования спектрально чистого двухканального полигармонического излучения с одинаковой разностной частотой и поляризационным мультиплексированием. Постановка задачи [Электронный ресурс] / О.Г. Морозов, И.И. Нуреев, Л.М. Фасхутдинов и др. // Инженерный Вестник Дона. - 2017. - Т. 47, № 4 // URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4587> (дата обращения: 24.05.2018).

Содержит основные результаты, изложенные в первой главе диссертации. (объем – 1,75 п.л., личный вклад – 30%).

3. Пат. RU 2 608 394 С1 Российская Федерация, МПК G01K 11/32 (2006.01). Устройство для измерения параметров физических полей [Текст] / Денисенко П.Е., Морозов О.Г., Фасхутдинов Л.М. и др.; заявитель и патентообладатель КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева. - № 2015126527; заявл. 02.07.2015; опубл. 18.01.2017, Бюл. № 2.

Содержит основные результаты, изложенные в третьей главе диссертации. (объем – 0,25 п.л., личный вклад – 20%).

4. Sahabutdinov, A.Z. Calibration of combined pressure and temperature sensors / A.Z. Sahabutdinov, A.A. Kuznetsov, L.M. Faskhutdinov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, No. 24. – pp. 44948-44957.

Содержит основные результаты, изложенные в третьей главе диссертации. (объем – 0,5 п.л., личный вклад – 15%).

5. Нуреев, И.И. Радиофотонное полигармоническое зондирование широкополосных волоконно-оптических структур в телекоммуникационных системах / И.И. Нуреев, А.Ф. Аглиуллин, Л.М. Фасхутдинов и др. // Нелинейный мир. - 2017. - Т. 15, № 6. - С. 40-48.

Содержит основные результаты, изложенные во второй, третьей и четвертой главах диссертации. (объем – 0,5 п.л., личный вклад – 20%).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Ведущей организации: ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Самара. Отзыв положительный.

Замечания:

1. «При рассмотрении устройств модуляционного преобразования оптического излучения в задачах поляризационного мультиплексирования не в полной мере рассмотрен вопрос о наличии/отсутствии в их структуре поляризующих элементов, как то: входного поляризатора и выходного анализатора; а также вопрос о необходимости / отсутствии таковой применения контроллеров поляризации».

2. «Недостаточно подробно описана экспериментальная часть работы в разделе 2.5. Отсутствуют параметры модулирующего напряжения; напряжение смещения, задающее рабочую точку модулятора; также не приведены характеристики используемого для регистрации сигналов измерительного оборудования».

3. «В разделе 4.2 предложено применение для телекоммуникационных систем схем формирования поляризационно-мультиплексированных тестовых излучений со специальными форматами модуляции. Целесообразно было бы оценить потребность в таких тестовых сигналах».

4. «В работе имеются погрешности в оформлении: отсутствуют оси на графиках 4.18 и 4.21; содержание рисунка 3.8 не соответствует содержанию подрисуночной подписи; рисунок 2.12 повторяет рисунок 1.7; присутствуют

пунктуационные ошибки и опечатки».

Официального оппонента: доктора технических наук, профессора Багманова В.Х. Отзыв положительный. Замечания:

1. «При проведении сравнительного анализа формирователей полигармонического зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием не были рассмотрены перспективные модуляционные преобразователи, такие как, например, оптические модуляторы на графеновых структурах».

2. «Имитационная и физическая модели формирователя на основе тандемного амплитудно-фазового модуляционного преобразования несколько отличаются по своей конфигурации. В тексте нет разъяснения, чем вызвано данное различие».

3. «Отсутствует оценка стабильности параметров выходного полигармонического излучения с поляризационным мультиплексированием при его распространении в протяженной волоконной линии».

4. «В работе не исследовалось влияние амплитудных и фазовых шумов на работу модуляционных преобразователей».

5. «В формулировках научной новизны в одном пункте присутствуют различные элементы новизны, например, способ и модель, способ и структурная схема. Более целесообразно было бы в каждом пункте отмечать отдельный элемент».

6. «В качестве замечания следует отметить дублирование формул в тексте, например, формула (2.11) совпадает с (2.28), (2.12) идентична (2.29)».

Официального оппонента: кандидата технических наук, Грачева В.А. Отзыв положительный. Замечания:

1. «В выводах по первой главе заявлено о выявленных резервах по улучшению метрологических характеристик формирователей, при этом не приведены конкретные характеристики и численные значения».

2. «В представленных структурных схемах измерительных систем на основе разработанного формирователя используются оптические циркуляторы, при этом не учтено то обстоятельство, что в его составе присутствуют линейно-поляризующие элементы, препятствующие прохождению одной из составляющих поляризационно-мультиплексированного излучения».



3. «Представленные результаты имитационного моделирования демонстрируют возможность получения поляризационно-мультиплексированных излучений, но не позволяют произвести оценку выходных характеристик формирователя».

4. «При рассмотрении трехчастотного метода зондирования волоконной брэгговской решетки в разделе 3.3 в тексте и структурной схеме не отражено то обстоятельство, что зондирование осуществляется одновременно по двум поляризациям».

5. «По представлению результатов диссертационной работы имеются следующие замечания: отсутствует единство в обозначении модулирующей частоты (встречаются обозначения  $\omega_{RF}$ ,  $\omega_{PЧ}$ ,  $\Omega$ ,  $f_m$ ); на некоторых рисунках (в частности, 4.18 и 4.21) отсутствуют подписи к осям».

Отзывы на автореферат диссертации:

АО «Казанское приборостроительное конструкторское бюро», г. Казань, подписанный заместителем начальника управления электронной аппаратуры, кандидатом технических наук Кадушкиным В.В. Отзыв положительный. Замечание: «В представленном автореферате, имеются некоторые моменты, которые требуют более детального прояснения, в частности выбор структурной схемы и принципа функционирования векторного анализатора произведен без сравнительного анализа существующих решений».

Институт систем обработки изображений РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук», подписанный руководителем ИСОИ РАН, доктором физико-математических наук Казанским Н.Л. Отзыв положительный. Замечания: 1. «При описании эффектов двулучепреломления в волоконной брэгговской решетке не приведена численная оценка вклада данного эффекта в измерительную характеристику». 2. «Не отражены принципы и структурные схемы формирования тестовых сигналов со специальными форматами модуляции».

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, подписанный доцентом кафедры «Радиотехники и связи», кандидатом технических наук Павловым В.В. Отзыв положительный. Замечание: «В качестве

недостатка стоит отметить тот факт, что при разработке практических рекомендаций не учтен вопрос применения поляризующих элементов в структуре предлагаемых электрооптических преобразователей».

ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, подписанный заведующим кафедрой Оптико-электронных систем, профессором, доктором физико-математических наук Самохваловым И.В. Отзыв положительный. Замечание: «К числу недостатков работы следует отнести то, что в автореферате не в полной мере отражен вопрос оценки стабильности модуляционного преобразования».

ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», г. Пермь, подписанный заместителем директора НТЦ – начальником управления волоконно-оптических компонентов – главным конструктором, кандидатом технических наук, Шевцовым Д.И. Отзыв положительный. Замечание: «В качестве недостатка стоит отметить тот факт, что в автореферате недостаточно полно отражены результаты физического моделирования формиратора».

Федеральное агентство связи Колледж телекоммуникаций ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (КТ МТУСИ), г. Москва, подписанный директором по учебно-производственной работе, кандидатом технических наук Алюшиной Светланой Геральдовной. Отзыв положительный. Замечания: 1. «В автореферате автором не в полной мере отражены теоретические основы изучаемого явления, решение поставленных задач, в основном, сводится лишь к описанию результатов исследования разработанных математических моделей». 2. «При рассмотрении структуры устройства для измерения параметров физических полей в третьей главе не уделено внимание его метрологическим характеристикам».

ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, подписанный доцентом кафедры Физика твердого тела, заместителем директора института Интегральной оптики и нанотехнологий, кандидатом физико-математических наук, Пономаревым Р.С. Отзыв положительный. Замечания: 1. «В тексте автореферата отсутствует обоснование приведенных в основных результатах и выводах по работе относительных значений

по увеличению чувствительности измерений при зондировании волоконной брэгговской решетки излучением с поляризационным мультиплексированием». 2. «В автореферате не приводятся ни фотографии экспериментальных установок, ни модели используемого в них оборудования. Иллюстрация установок повысила бы информативность автореферата».

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», подписанный заведующим кафедры Физика и техника оптической связи, доктором физико-математических наук, профессором Раевским А.С. Отзыв положительный. Замечания: 1. «Неудачные фразы: «... в отраженном спектре ... возникают две накладывающиеся друг на друга *решетки* ...» (стр. 14); «... выделении боковых гармоник ..., расположенных на *склонах* поляризационно-разделенной ВБР ...» (стр. 15)». 2. «В п. Реализация и внедрение результатов работы указан большой список НИР и НИОКР, в которых участвовал соискатель ученой степени, однако из текста автореферата не ясно, какие из представленных результатов в данных работах использовались и каким образом».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что Багманов В.Х. – д.т.н., профессор, является крупным специалистом в области поляризационных характеристик волоконно-оптических систем, Грачев В.А. – к.т.н., является крупным специалистом в области радиофотонных средств и методов преобразования сигналов, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» является ведущим учебно-методическим центром Российской Федерации в области волоконно-оптических линий связи в целом, и подсистем мониторинга в частности. Оба оппонента и представители ведущей организации имеют достаточное количество публикаций, схожих по тематике с диссертацией соискателя.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** научно-технические основы проектирования формирователей полигармонического зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием на основе применения тандемного амплитудно-фазового модуляционного преобразования оптической несущей для волоконно-оптических измерительных систем и подсистем мониторинга телекоммуникационных систем;

**предложен** новый метод и устройство формирования зондирующих излучений на основе применения тандемного амплитудно-фазового модуляционного преобразования оптической несущей в полигармоническое поляризационно-мультиплексированное излучение с разностными частотами боковых составляющих, лежащими в радиочастотном диапазоне;

**доказана** перспективность использования предложенных методов полигармонического зондирования с поляризационным мультиплексированием для улучшения метрологических и технико-экономических характеристик формирователей, применяемых в волоконно-оптических измерительных системах и подсистемах мониторинга телекоммуникационных систем;

**введено** новое понятие «тандемное амплитудно-фазовое модуляционное преобразование одночастотного излучения в полигармоническое с поляризационным мультиплексированием» - комбинирование метода формирования полигармонических зондирующих излучений на основе тандемного амплитудно-фазового модуляционного преобразователя и методов поляризационного мультиплексирования излучений.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**доказана** применимость полученных формирователей полигармонических зондирующих излучений с поляризационным мультиплексированием для улучшения метрологических и технико-экономических характеристик волоконно-оптических измерительных систем и подсистем мониторинга телекоммуникационных систем;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы:** методы решения задач математической физики, основы оптомеханики волоконных световодов и брэгговских структур, теория связанных мод, матричные методы описания поляризационных характеристик оптических структур;

**изложены** теоретические положения и описаны направления использования предложенных методов и средств формирования полигармонического зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием в волоконно-оптических измерительных системах с применением волоконных брэгговских решеток и подсистемах мониторинга телекоммуникационных систем в задачах векторного анализа и формирования тестовых сигналов специальной формы;

**раскрыта** новая задача, связанная с необходимостью непрерывного контроля поляризационных характеристик как узкополосных, так и широкополосных структур, предложены пути их решения;

**изучено** влияние параметров модуляционного преобразования на спектральный состав зондирующего излучения и его поляризационные характеристики;

**проведена модернизация** метода формирования полигармонических зондирующих излучений на основе тандемного амплитудно-фазового модуляционного преобразования для применения в системах с поляризационным мультиплексированием;

**Значение полученных соискателем результатов** исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** опытные образцы формирователей полигармонического зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием на основе впервые полученных технических решений для волоконно-оптических измерительных систем и подсистем мониторинга телекоммуникационных систем, алгоритмы преобразования отклика волоконно-оптических датчиков при зондировании их поляризационно-мультиплексированными сигналами с различной структурой спектра, структурные схемы поляриметрических волоконно-оптических измерительных систем для одновременного измерения температуры и давления;

**определены** перспективы использования способов зондирования полигармоническими излучениями с поляризационным мультиплексированием для контроля спектральных и поляризационных характеристик волоконной брэгговской решетки на этапах записи и эксплуатации, как селективных элементов волоконно-оптических телекоммуникационных систем и чувствительных элементов датчиков в волоконно-оптических измерительных системах;

**создан** комплекс практических рекомендаций по построению системы одновременного контроля температуры и поперечного давления на основе волоконной брэгговской решетки, зондируемой полигармоническим излучением с поляризационным мультиплексированием формируемом в тандемном амплитудно-фазовом формирователе; по контролю оптических фильтров на базе волоконной брэгговской решетки, как важных компонентов волоконно-оптических телекоммуникационных систем; по проектированию формирователей и их применению в задачах синтеза тестовых сигналов в

различных форматах импульсно-кодовой модуляции и построения векторных анализаторов оптических узкополосных структур;

**представлены** рекомендации по выбору импортозамещающей элементной базы для создания формирователей при решении различных задач.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** использовано современное сертифицированное измерительное оборудование - универсальная экспериментальная установка научно-исследовательского института Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (НИИ ПРЭФЖС) в лаборатории «Волоконно-оптической метрологии», обоснованы проведенные калибровки и показана высокая воспроизводимость результатов;

**теория** построена на известных научных представлениях об определении погрешностей измерения в волоконно-оптических измерительных системах и оценки качества обслуживания волоконно-оптических телекоммуникационных систем;

**идея базируется** на анализе систем с поляризационным мультиплексированием, используемых в практике, обобщении передового опыта в области построения волоконно-оптических измерительных систем и подсистем мониторинга телекоммуникационных систем;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее другими авторами;

**установлено** повышение чувствительности проводимых измерений в 1,3-3,2 раза по сравнению с системами без применения полигармонических зондирующих излучений с поляризационным мультиплексированием, причем в большинстве случаев потребуется измерение только амплитудных параметров на частотах биений, для реализации всех разработанных способов не потребуется сложной дорогостоящей аппаратуры спектрального или векторного анализа, что позволяет получить выигрыш по стоимости реализации до 5 раз;

**использованы** современные методы сбора и обработки поляриметрической информации о характеристиках чувствительных элементов волоконно-оптических измерительных систем на основе волоконной брэгговской решетки и селективных элементов волоконно-оптических телекоммуникационных систем.



**Личный вклад соискателя** состоит в: разработке способа формирования полигармонических излучений с поляризационным мультиплексированием и научно-технических основ его применения в волоконно-оптических измерительных системах и подсистемах мониторинга телекоммуникационных систем; участии в модельных и физических экспериментах по исследованию макетов и проведении оценки эффективности применения формирователей; определении направлений развития научных исследований по указанной тематике; в апробации, опубликовании и внедрении результатов исследования.

Диссертация Фасхутдинова Л.М. представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в котором решена актуальная научно-техническая задача улучшения метрологических и технико-экономических характеристик электрооптических формирователей зондирующего излучения с поляризационным мультиплексированием для волоконно-оптических измерительных систем и подсистем мониторинга телекоммуникационных систем, за счет применения в них тандемного амплитудно-фазового модуляционного преобразования оптической несущей в полигармоническое поляризационно-мультиплексированное излучение с разностными частотами боковых составляющих, лежащими в радиочастотном диапазоне.

На заседании 23 ноября 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Фасхутдинову Л.М. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 18, «против» – нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета



Ю.К. Евдокимов

Ученый секретарь диссертационного совета

Е.С. Денисов

Дата оформления Заключения

23.11.2018 г.