

## Протокол №24

заседания диссертационного совета Д 212.079.09

от 26.12.2016 г.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 23 человек. Присутствовали на заседании 16 человек.

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

**Присутствовали:** д-р техн. наук, профессор Евдокимов Юрий Кириллович (председатель, специальность 05.11.13), д-р техн. наук, профессор Афанасьев Вадим Владимирович (зам. председателя, специальность 05.12.04), канд. техн. наук Денисов Евгений Сергеевич (ученый секретарь, специальность 05.11.13), д-р техн. наук, доцент Анфиногентов Владимир Иванович (специальность 05.12.07), , д-р техн. наук, профессор Данилаев Максим Петрович (специальность 05.11.13), д-р техн. наук, профессор Даутов Осман Шакирович (специальность 05.12.07), д-р техн. наук, профессор Ильин Герман Иванович (специальность 05.12.04), д-р техн. наук, профессор Карамов Фидус Ахмадиевич (специальность 05.11.13), д-р техн. наук, профессор Морозов Геннадий Александрович (специальность 05.12.07), д-р техн. наук, профессор Морозов Олег Геннадьевич (специальность 05.11.13), д-р физ.-мат. наук, профессор Нигматуллин Равиль Рашидович (специальность 05.12.04), д-р физ.-мат. наук, профессор Польский Юрий Ехилеевич (специальность 05.12.04), д-р техн. наук, профессор Седельников Юрий Евгеньевич (специальность 05.12.07), д-р техн. наук, профессор Файзуллин Рашид Робертович (специальность 05.12.04), д-р техн. наук, профессор Чабдаров Шамиль Мидхатович (специальность 05.12.04), д-р техн. наук, профессор Чермошенцев Сергей Федорович (специальность 05.12.07).

**Повестка дня:** Защита диссертации Кузнецова Артёма Анатольевича на тему: «Мультипликативный волоконно-оптический датчик износа и температуры щеток электрических машин» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

**Слушали:** Защиту кандидатской диссертации Кузнецова Артёма Анатольевича на тему: «Мультипликативный волоконно-оптический датчик износа и температуры щеток электрических машин» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

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

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань.  
Заключение подписано Ившиным Игорем Владимировичем, профессором, д-ром техн. наук, заведующим кафедрой Электроснабжение промышленных предприятий, утвержденным Абдуллазяновым Эдвардом Юнусовичем, доцентом, канд. техн. наук, ректором ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Официальные оппоненты:

1. Иванов Олег Витальевич – д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Ульяновского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Ульяновск.

2. Дашков Михаил Викторович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры Линий связи и измерений в технике связи федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Самара.

Отзывы на автореферат поступили от:

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, подписанный заведующим кафедрой Физика и техника оптической связи, профессором, д-ром физ.-мат. наук, Раевским А.С.

ФГБУН «Пермский научный центр» Уральского отделения Российской академии наук, подписанный научным сотрудником Лаборатории фотоники, канд. техн. наук, Константиновым Ю.А.

Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск, подписанный заведующим кафедрой Оптико-электронных систем, профессором, д-ром физ.-мат. наук, Самохваловым И.В.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, подписанный заведующим кафедрой Телекоммуникационные системы, профессором, д-ром техн. наук Султановым А.Х.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, подписанный доцентом кафедры Радиотехники и связи, доцентом, канд. техн. наук Зуевым А.В.

АО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», г. Пермь, подписанный заместителем директора НТЦ – начальником управления волоконно-оптических компонентов, канд. физ.-мат. наук Шевцовым Д.И.

АО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко, г. Казань, подписанный заместителем главного конструктора по системным вопросам, д-ром техн. наук, доцентом Логиновым С.С.

Все отзывы положительные.

Вопросы задали:

д-р физ.-мат. наук, профессор Нигматуллин Р.Р.; д-р техн. наук, профессор Евдокимов

Ю.К.; д-р техн. наук, профессор Файзуллин Р.Р.; д-р техн. наук, профессор Морозов Г.А.; д-р техн. наук, профессор Данилаев М.П.; д-р техн. наук, профессор Ильин Г.И.

Выступили:

канд. техн. наук, доцент Нуреев И.И.; д-р физ.-мат. наук, профессор Иванов О.В., канд. техн. наук, доцент Дашков М.В.; д-р техн. наук, профессор Данилаев М.П.; д-р физ.-мат. наук, профессор Нигматуллин Р.Р.; д-р техн. наук, профессор Файзуллин Р.Р.; д-р техн. наук, профессор Морозов О.Г.; д-р техн. наук, профессор Евдокимов Ю.К.

Постановили:

1. Диссертация Кузнецова А.А. представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в котором решена актуальная задача улучшения метрологических и технико-экономических характеристик мультипликативных волоконно-оптических датчиков контроля износа и температуры щеток электрических машин, что соответствует 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 26 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Кузнецову А.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 16, «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» – 16 человек, «против» – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель диссертационного совета

Ученый секретарь диссертационного совета



Ю.К. Евдокимов

Е. С. Денисов

26 декабря 2016 года

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.079.09 НА БАЗЕ  
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.Н.ТУПОЛЕВА – КАИ»

ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26 декабря 2016 года, протокол №24

О присуждении Кузнецову Артёму Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Мультипликативный волоконно-оптический датчик износа и температуры щеток электрических машин» по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», принята к защите 20 октября 2016 г., протокол №22, 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 Кузнецов Артём Анатольевич, 1991 года рождения, в 2015 году с отличием окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» по направлению «Радиотехника».

С 2015 года по настоящее время обучается в аспирантуре (очно) ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Работает в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» в должности младшего научного сотрудника группы «Радиофотоника» НИИ Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем, а также в должности ассистента кафедры Радиофотоники и микроволновых технологий (по совместительству).

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

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Нуреев Ильнур Ильдарович, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический

университет им. А.Н. Туполева-КАИ», кафедра Радиофотоники и микроволновых технологий, доцент.

Официальные оппоненты:

1. Иванов Олег Витальевич – доктор физико-математических наук, Ульяновский филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (г. Ульяновск), лаборатория световолоконной техники и оптических измерений (УФ-1), ведущий научный сотрудник.

2. Дашков Михаил Викторович – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (г. Самара), кафедра Линий связи и измерений в технике связи, доцент.

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, в своем положительном заключении, подписанном Ившиным Игорем Владимировичем, профессором, доктором технических наук, заведующим кафедрой Электроснабжение промышленных предприятий, утвержденным Абдуллазяновым Эдвардом Юнусовичем, доцентом, кандидатом технических наук, ректором ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», 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, а ее автор, Кузнецов Артём Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 23 опубликованные работы по теме диссертации, из них в журналах, включенных в Перечень ВАК по специальности 05.11.13 – 3, по смежным специальностям – 3; статей в изданиях, цитируемых в базах данных Scopus/WoS – 5; в реферируемых трудах и сборниках докладов международных конференций – 6; а также 3 патента РФ.

Наиболее значимые публикации:

*Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК по специальности 05.11.13*

1. Кузнецов, А.А. Датчик износа и температуры изделия на основе волоконно-оптического чувствительного элемента / А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев и др.

// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т.17. – №6(2). – С. 455-460

2. Кузнецов, А.А. Комплексованный волоконно-оптический датчик износа и температуры трущихся поверхностей / А.А. Кузнецов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – №1. – С.45-48.

3. Кузнецов, А.А. Щетка как интеллектуальный узел электродвигателя / О.Г. Морозов, В.И. Артемьев, А.А. Кузнецов и др. // Инженерный вестник Дона (электронный научный журнал). – 2016. – №1 // Режим доступа: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3525](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3525), свободный

#### *Патенты*

4. Патент 150177 Российская Федерация, МПК G01B 11/06. Устройство для измерения величины износа и температуры изделия при трении / А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ» (RU). – № 2014126720/28; заявл. 01.07.2014, опубл.: 10.02.2015.; Бюл. № 4.

5. Патент 2557577 Российская Федерация, МПК G01B 11/06. Устройство для измерения величины износа и температуры изделия при трении / А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ» (RU). – № 2014126786/28; заявл. 01.07.2014, опубл.: 27.07.2015г.; Бюл. № 21.

6. Патент 161644 Российская Федерация, МПК G01 K 11/32. Устройство для измерения параметров физических полей / А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев, А.Ж. Сахабутдинов и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ» (RU). – № 2015126618/28, заявл. 02.07.2015; опубл.: 27.04.2015. Бюл. №12.

#### *Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в Scopus/WoS*

7. Kuznetsov, A.A. Smart photonic carbon brush / O.G. Morozov, A.A. Kuznetsov, G.A. Morozov et al. // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9807. – P. 98070M-1-7.

8. Kuznetsov, A.A. Fiber-optic system for checking the acoustical parameters of gas-turbine engine flow-through passages / A.A. Kuznetsov, V.Yu. Vinogradov, O.G. Morozov et al. // Proceedings of SPIE. – 2015. – V. 9533. – P. 95330K-1-7.

9. Kuznetsov, A.A. Fiber Bragg grating writing technique for multimode optical fibers providing stimulation of few-mode effects in measurement systems / A.A. Kuznetsov, A.V. Bourdine, V.A. Burdin et al. // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9807. – P. 98070J-1-7.

10. Kuznetsov, A.A. Experimental researches of fiber Bragg gratings operating in a few-mode regime / A.A. Kuznetsov, A.M. Kafarova, L.M. Faskhutdinov et al. // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9807. – P. 98070L-1-8.

11. Kuznetsov, A.A. Quasi-interferometric scheme improved by fiber Bragg grating for detection of outer mechanical stress influence on distributed sensor being silica multimode optical fiber operating in a few-mode regime / A.A. Kuznetsov, A.M. Kafarova, L.M. Faskhutdinov et al. // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9807. – P. 98070K-1-13.

*Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК по смежным специальностям*

12. Кузнецов, А.А. Оценка возможностей применения волоконных решеток Брэгга с гауссовым профилем отражения в качестве датчика температуры / Д.И. Касимова, А.А. Кузнецов, П.П. Крыницкий и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ. – 2013. – №2(18). – С. 73-79.

13. Кузнецов, А.А. Аэроакустические методы диагностирования проточной части авиационных двигателей / В.Ю. Виноградов, А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов и др. // Авиационная промышленность. – 2014. – №1. – С. 48-52.

14. Кузнецов, А.А. Математическая модель и структура модуляционного оптико-абсорбционного газоанализатора выхлопных газов / А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №5 // Режим доступа: <http://www.science-education.ru/119-14742>, свободный.

*Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в РИНЦ*

15. Кузнецов, А.А. Волоконно-оптические датчики износа и температуры трущихся поверхностей / А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев и др. // Фотон-Экспресс. – 2015. – №6(126). – С. 210-211.

16. Кузнецов, А.А. Волоконно-оптические датчики износа и температуры щеток электродвигателя / А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев и др. // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2016. – №2. – С. 18-24.

17. Кузнецов, А.А. Результаты экспериментальных исследований маломодовых режимов волоконных брэгговских решеток на многомодовых световодах / А.В. Бурдин,

О.Г. Морозов, И.И. Нуреев // Инфокоммуникационные технологии. – 2016. – №1. – С. 19-33.

В работах [1-5, 7, 15-16] Кузнецовым А.А. разработан способ одновременного контроля износа и температуры щеток электрических машин, разработаны и исследованы математические модели процессов контроля износа и температуры щеток электрических машин с использованием различных внутриволоконных брэгговских структур: в работах [1, 4-5] – на основе обычной и длиннопериодной волоконной брэгговской решетки, [2, 6] – волоконной решетки с фазовым  $\pi$ -сдвигом и внутриволоконного интерферометра Фабри-Перо, [3, 7] – массива однотипных волоконных брэгговских решеток. Предложены методики по анализу мультипликативного отклика разработанного датчика с целью выделения информационных составляющих об измеряемых параметрах.

В работах [8, 13] Кузнецовым А.А. произведена оценка перекрестного влияния физических величин на мультипликативный отклик волоконно-оптического датчика на основе ВБР.

В работах [9-11, 17] Кузнецовым А.А. рассмотрены методы записи ВБР в многомодовых световодах для датчиков различного назначения.

В работах [4-6, 15-16] Кузнецовым А.А. предложена структура щетки электродвигателя со встроенным мультипликативным датчиком износа, методика ее экспериментального исследования.

В работах [12, 14] Кузнецовым А.А. описана методика измерения температуры с использованием волоконно-оптического датчика на основе волоконных брэгговских структур.

Работы, отражающие основные результаты диссертации, написаны автором совместно с членами научного коллектива, а все теоретические и экспериментальные результаты получены автором лично, либо при его определяющем участии.

После подачи документов в совет и рассылки автореферата зарегистрирован еще один патент на полезную модель «Устройство для измерения величины износа и температуры изделия при трении» №166821, заявл. 21.06.2016, опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Ведущей организации: ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань. Отзыв положительный. Замечания:



1. При проведении сравнительного анализа (глава 1) следовало бы уделить большее внимание коммерчески доступным датчикам сигнализации износа и контроля температуры щеток электрических машин. Представленный патентный поиск подробно описывает всевозможные технические решения, однако не в полной мере отражает реальное состояние рынка таких устройств

2. Предположения о том, что твердость материала оптического волокна и щетки одинакова, клей, использующийся для заделки оптического волокна с волоконно-оптическим датчиком износа не влияют на характеристики материалов (стр. 55) требуют дополнительного анализа.

3. Автором не в полной мере обозначена экономическая эффективность использования разработанных датчиков. Следовало бы привести оценку стоимости датчика и устройства съема и обработки информации в сравнении со стоимостью ТЭД, на котором она может быть применена. Данная оценка позволила бы заинтересовать потенциальных инвесторов в данном исследовании не только с его технической и научной, но и с коммерческой стороны.

4. В работе обнаружены неточности, так на странице 12 автореферата не понятно выражение: «Показано, что в нормальном режиме работы температура щетки (рис. 9) распределена практически»

Официального оппонента, доктора физико-математических наук Иванова О.В. Отзыв положительный. Замечания:

1. Разделы «Основные направления исследований», «Научная новизна», «Основные положения, выносимые на защиту» содержат дословные повторы текста с заменой одного слова «износ» на «температура». Предпочтительнее было бы вместо пар одинаковых абзацев в одном абзаце написать «износ и температура».

2. На всех графиках в диссертации коэффициент отражения приводится в относительных единицах. По отношению к какой величине в тексте не указывается, поэтому сравнение различных графиков становится затруднительным. Коэффициент отражения сам по себе уже есть отношение, поэтому лучше приводить его абсолютное значение

3. В формуле 2.10 (стр. 60) и в определении величин, входящих в нее, содержатся ошибки

4. В работе утверждается, что решетки с фазовым сдвигом позволяют в 2 раза увеличить длину контролируемого участка по сравнению с обычной решеткой, а

использование интерферометра позволяют увеличить длину еще в 1,5 раза. В действительности длина контролируемого участка увеличивается в первом случае просто за счет увеличения длины решетки в 2 раза, а во втором случае за счет включения нечувствительного участка интерферометра без решетки.

5. В работе исследовался температурный отклик волоконной решеткой, вклеенной в щетку двигателя, при этом не учитывалась деформация решетки в результате теплового расширения самой щетки, коэффициент теплового расширения которой на порядок выше коэффициента теплового расширения кварца волокна.

6. При описании тепловой модели щетки непонятно откуда появились формулы 3.11 (стр. 98) и 3.12 (стр. 99), и почему разнородные тепловые сопротивления  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  оказались равны друг другу. Результаты моделирования представлены на рис. 3.20 (стр. 102) в зависимости от времени, однако изначально используемая модель была стационарной без зависимости от времени.

7. Зависимости на рисунке 4.5 (стр. 112) приведены непонятно для каких температур. Если для  $T = -60$  °C и  $T = 120$  °C, то они, действительно, должны совпадать. Однако для решетки полной длины максимальное отличие характеристик должно наблюдаться между  $T = 30$  °C и  $T = 100$  °C и составлять величину порядка 7%, а не 2%, как на рисунке

Официального оппонента, кандидата технических наук Дашкова М.В. Отзыв положительный. Замечания:

1. Раздел 4.2, посвященный оценке погрешности предлагаемого метода, требует более подробных пояснений. В частности, из текста диссертации неясно, как определяется параметр  $S_{fbg}$  и по какому критерию выбрано минимальное требуемое отношение сигнал/шум.

2. По результатам экспериментального исследования разработанного датчика и устройства опроса (раздел 4.3) не накоплена достаточная статистика и полученная величина погрешности измерения не отражает величину случайной погрешности.

3. Требуется пояснения как результаты, представленные на рис. 4.9 (стр. 121), согласуются с результатами расчетов в разделе 4.2.

4. В работе не учитывалась погрешность измерения температуры, связанная с флуктуацией положения центральной длины волны ВБР, вызванной вибрацией щетки в процессе работы электродвигателя.

5. В формуле 2.7 на стр. 56 имеется опечатка.

6. Отдельные разделы перегружены малоинформативными рисунками. Например, представленные на рис. 2.10 (стр. 63) профили спектра отражения ВБР с  $\pi$ -сдвигом после износа до половины решетки полностью аналогичны представленным на рис. 2.3 (стр. 55-56). Также, полностью совпадают графики на рис.3.4-3.7 в силу того, что формулы 3.4-3.7 имеют идентичный вид и описывают одну и ту же зависимость “температура - брэгговская длина волны” без учета типа ВБР и ее длины

Отзывы на автореферат диссертации:

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, подписанный заведующим кафедрой Физики и техники оптической связи, профессором, доктором физико-математических наук, Раевским А.С. 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 (главы 2 и 3).

2. В работе автором описывается ряд внутриволоконных брэгговских структур (ВБР с фазовым сдвигом, интерферометр Фабри-Перо на основе ВБР и линейный массив однотипных ВБР), однако в тексте автореферата не отражены вопросы создания таких структур с использованием существующих методик записи.

ФГБУН «Пермский научный центр» Уральского отделения Российской академии наук, подписанный научным сотрудником Лаборатории фотоники, кандидатом технических наук, Константиновым Ю.А. Отзыв положительный. Замечания:

1. Из автореферата неясно, проводились ли исследования или хотя бы давалась предварительная оценка того, как опорные брэгговские структуры, помещенные в бортовую сеть транспортного средства, ввиду своего возможного температурного дрейфа влияют на качество анализа мультипликативного отклика МВОД.

2. Сложно оценить, каковой должна быть технологическая повторяемость АЧХ упомянутых выше опорных решеток для повторения описанных точностных характеристик – в том числе, и в условиях будущего серийного производства.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, подписанный заведующим кафедрой Оптико-электронных систем, профессором, доктором физико-математических наук, Самохваловым И.В. Отзыв положительный. Замечание:

Выбор метода опроса мультипликативного волоконно-оптического датчика (раздел 4.1) произведен без сравнительного анализа прочих широко известных методов опроса ВБР. Остаются неясны критерии выбора используемого метода опроса.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, подписанный заведующим кафедрой Телекоммуникационные системы, профессором, доктором технических наук Султановым А.Х. Отзыв положительный. Замечания:

1. Автором разработано большое число математических моделей исследуемых процессов, однако в тексте автореферата не приведена ни одна аналитическая их запись, а представлены лишь результаты моделирования в виде графических зависимостей

2. В автореферате не в полной мере отражен вопрос определения оценки погрешности (раздел 4.2): автор не указывает какие источники погрешностей (шума) учитывались при расчете.

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

В качестве недостатка стоит отметить тот факт, что при разработке практических рекомендаций не учтен вопрос эксплуатационной надежности кварцевого оптического волокна в условиях высокой вибрационной нагрузки работающего электродвигателя.

АО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», г. Пермь, подписанный заместителем директора НТЦ – начальником управления волоконно-оптических компонентов, кандидатом физико-математических наук Шевцовым Д.И. Отзыв положительный. Замечания:

1. В математических моделях, исследованных автором, не учитываются реальные профили волоконных решеток Брэгга. Все расчеты сделаны в предположениях идеальной формы кривой профиля волоконной решетки Брэгга, подчиняющейся закону нормального распределения в форме Гаусса. Не проведены оценки влияния погрешности форм профилей на результирующие кривые зависимости добротности контура и его максимальной амплитуды.

2. Не предложены результаты исследований, которые описывали бы влияние результата воздействия при встраивании волоконно-оптического датчика на целостность конструкции щетки и влияние этого воздействия на ее эксплуатационные характеристики.

3. На рис. 12 «Обобщенная структурная схема устройства опроса МВОД»

приведена схема опроса ВБР1, которая не учитывает температурный уход измерительных ВБР2 и ВБР3.

АО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко, г. Казань, подписанный заместителем главного конструктора по системным вопросам, доктором технических наук, доцентом Логиновым С.С. Отзыв положительный. Замечания:

В качестве недостатка представленного автореферата диссертации стоит отметить следующее обстоятельство. При описании многоуровневой системы сигнализации износа на «желтом» уровне автор вводит некую величину  $\varepsilon$ , определяющую максимальную контролируемую величину износа (минимальную длину ВБР), однако не приведен порядок этой величины, либо критерии его определения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что Иванов О.В. – доктор физико-математических наук, является крупным специалистом в области волоконно-оптических датчиков, в том числе на основе брэгговских структур, Дашков М.В. – кандидат технических наук, доцент, является крупным специалистом в области волоконно-оптических технологий, в том числе систем мониторинга волоконно-оптических сетей передачи данных, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» является одним из ведущих университетов России в области энергетики и электротранспорта. 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 мультипликативных волоконно-оптических датчиков износа и температуры щеток электрических машин с улучшенными метрологическими и технико-экономическими характеристиками, использующих в качестве чувствительного элемента волоконные брэгговские структуры;

**предложен** новый подход для одновременного измерения износа и температуры щетки, основанный на контроле физической длины и брэгговской длины волны встроенной в нее волоконной брэгговской структуры.

**доказана** перспективность применения предложенного способа и устройств для повышения метрологических и технико-экономических характеристик мультипликативных волоконно-оптических датчиков износа и температуры щеток электрических машин;

**введена** новая трактовка, расширяющая понятие мультипликативности отклика волоконной брэгговской структуры, связанная с увеличением числа одновременно контролируемых с помощью волоконной брэгговской структуры физических величин;

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

**доказана** перспективность применения волоконных брэгговских структур для улучшения метрологических и технико-экономических характеристик мультипликативных волоконно-оптических датчиков контроля износа и температуры щеток электрических машин;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** методы: решения задач математической физики, оптомеханики волоконных световодов и брэгговских структур, теории связанных мод, а также электротепловой аналогии для моделирования температурных полей твердого тела и сравнения мощностей для анализа отклика датчика и одновременного определения износа и температуры;

**изложены** теоретические положения и описаны направления использования предложенного в диссертации способа и устройств для его реализации с учетом необходимости одновременного, непрерывного и многоуровневого контроля износа и распределения поля температур щетки электрической машины;

**раскрыты** новые проблемы, связанные с соотношением твердости материалов щеточно-коллекторного узла и датчиков и необходимостью точного профилирования температуры по телу щетки электрической машины, предложены пути их решения;

**изучены** зависимости изменения характерных параметров спектра отражения волоконных брэгговских структур от их длины и температуры, как отдельно, так и комплексно;

**проведена модернизация** метода электротепловой аналогии для контроля температурных полей, как для точечного контроля, так и для определения на основе имеющихся данных информации о распределении тепловых полей по всему телу щетки электрической машины.

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

**разработаны и внедрены** научно-технические основы проектирования мультипликативных волоконно-оптических датчиков износа и температуры щеток электрических машин, включающие в себя разработку и экспериментальное исследование математических моделей и макетных образцов мультипликативных волоконно-оптических датчиков износа и температуры щеток

электрических машин, а также методов и средств их опроса, позволяющих осуществлять одновременную обработку информации об износе и температуре; лабораторные практикумы по исследованию внутриволоконных брэгговских структур как чувствительных элементов мультипликативных волоконно-оптических датчиков износа и температуры при выполнении НИР и НИОКР КНИТУ-КАИ, в частности в рамках работ по Постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 №218 (договор №9932/17/07-К-12), договору №102-ПТ и №157814970001 с ДООО «ИРЗ ТЭК», проектной части государственного задания Минобрнауки РФ на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2014-2016 годы (программа «Радиофотоника», 3.1962.2014/К), а также в учебном процессе КНИТУ-КАИ по направлению «Радиотехника»;

**определены** перспективы использования разработанных мультипликативных волоконно-оптических датчиков износа и температуры, связанные с расширением перечня контролируемых параметров и областей применения;

**создана** система практических рекомендаций по проектированию и изготовлению щеток электродвигателей со встроенными разработанными мультипликативными волоконно-оптическими датчиками;

**представлены** рекомендации по улучшению характеристик разработанных мультипликативных датчиков, связанных с устранением неконтролируемого участка определения износа для отдельных волоконных брэгговских структур, а также с увеличением участка непрерывного контроля износа.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** результаты проведенных экспериментов получены на современном сертифицированном измерительном оборудовании для анализа волоконных брэгговских структур, обоснованы проведенные калибровки и показана высокая воспроизводимость результатов;

**теория** построена на известных научных представлениях о свойствах и характеристиках волоконных брэгговских структур и их свойствах при размещении датчика в материальных средах;

**идея базируется** на известных электронных и волоконно-оптических решениях по контролю износа и температуры щеток электрических машин и их развитию на основе использования свойств волоконных брэгговских структур, что показано впервые;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по данной тематике;

установлено что разработанный датчик позволяет обеспечить абсолютную погрешность измерения износа:  $\pm 0,11$  мм, температуры:  $\pm 0,8$  °С, что в 1,1 (а для щеток большей длины до 5 раз) и 1,2 раза выше требований нормативно-технической документации;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации о характеристиках волоконных брэгговских структур, несущих информацию об износе и температуре щетки электрической машины.

Личный вклад соискателя состоит в разработке: способа одновременного контроля износа и температуры щетки в основе которого лежит использование мультипликативного волоконно-оптического датчика на основе волоконных брэгговских структур, математических моделей процесса контроля износа и температуры щеток электрических машин на основе предложенного метода, их исследование и экспериментальная апробация; анализе полученных результатов и подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация Кузнецова А.А. представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в котором решена актуальная научно-техническая задача, связанная с улучшением метрологических и технико-экономических характеристик мультипликативных волоконно-оптических датчиков контроля износа и температуры щеток электрических машин.

На заседании 26 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Кузнецову А.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 16, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета

Ю.К. Евдокимов

Ученый секретарь диссертационного совета

Е. С. Денисов

Дата оформления Заключения

26 декабря 2016 года