

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор

АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор"

В.Г. Пешехонов

«15» 11

2018 г.

## ОТЗЫВ

Ведущей организации

Акционерного общества «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР» на

диссертационную работу Савина Максима Анатольевича

**«Математическое моделирование дрейфа волоконно-оптического**

**гироскопа в условиях внешних воздействий»**, представленную на

соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.13.18 – «математическое моделирование, численные методы и комплексы

программ»

### Общие положения

Диссертационная работа выполнена в Пермском национальном исследовательском политехническом университете, содержит введение, 5 глав и заключение, выполненные на 172 страницах, в том числе 76 рисунков, 3 таблицы, список цитируемой литературы, включающий 104 наименования.

## **Актуальность темы выполненной работы и ее связь с соответствующими отраслями науки и народного хозяйства**

Тема диссертации Савина М.А. посвящена исследованию влияния внешних механических и температурных воздействий на волоконно-оптический гироскоп (ВОГ), а также разработке метода компенсации температурной ошибки ВОГ. Основными задачами в диссертационной работе являются: разработка математической и компьютерной модели для исследования механизма возникновения ошибки выходного сигнала ВОГ при температурном или механическом воздействии на волоконный контур; экспериментальное исследование волоконного контура в составе ВОГ в условиях изменяющейся температуры; анализ эффективности конструкторских решений для волоконного контура на основе результатов компьютерного моделирования; разработка методики компенсации температурной ошибки в выходном сигнале ВОГ в режиме реального времени.

Для решения поставленных задач применяются перспективные методы математического и компьютерного моделирования, описание которых подробно представлено в работе. Следует отметить высокое практическое значение полученных расчетных данных для волоконно-оптического контура с различными типами намотки и возможными дефектами в структуре волоконной катушки.

Все вышесказанное позволяет признать полученные в диссертации результаты актуальными для отраслей науки и промышленности, связанных с разработкой и производством волоконно-оптических гироскопов и навигационных и измерительных модулей на их основе.

## **Новизна полученных результатов и выводов, сформулированных в работе**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем.

Впервые построена математическая модель для расчета напряженно-деформированного состояния оптического волокна в катушке ВОГ, учитывающая внутреннюю его неоднородную регулярную микроструктуру (типа PANDA), численно реализованная методом контрольных объемов.

Впервые предложена методика расчета дрейфа ВОГ, учитывающая эффект фотоупругости в каждом витке оптического волокна в катушке и позволяющая определять отклик гироскопа на температурное и динамическое механическое возмущение.

Предложена оригинальная методика алгоритмической компенсации термически индуцированного дрейфа в реальном времени по данным предварительной калибровки температурной ошибки выходного сигнала ВОГ.

## **Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов**

Совершенствование технологии производства интерферометрических датчиков является важной задачей для отечественного приборостроения, в частности в области создания инерциальных навигационных систем на базе волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) класса точности 0,01 °/ч. Потенциал повышения точностных характеристик ВОГ может быть реализован путем доработки конструкции чувствительного элемента ВОГ, а именно устранения негативных эффектов в волоконно-оптическом контуре, влияющих на точность измерительного прибора. В связи с этим, задачи,

поставленные в диссертационной работе Савина М.А., безусловно, представляются актуальными.

Диссертация Савина М.А. содержит важный теоретический экспериментальный материал. Каждый основной результат и вывод являются достоверными, поскольку подтверждаются логической согласованностью совокупности представленных расчетных и экспериментальных данных и отсутствием противоречий со строго установленными и общепринятыми научными фактами. Высокий научный уровень выполненных исследований, контролируемость условий эксперимента, повторяемость, точность измерений гарантируют достоверность и надежность представленных результатов.

### **Недостатки диссертационной работы**

По материалу диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В тексте диссертации для верификации разработанной модели приводится сравнение экспериментальных и расчетных данных только для одного температурного режима. Целесообразно было бы провести прямое сравнение экспериментальных данных и данных моделирования для выходного сигнала ВОГ в режимах с различной скоростью изменения температуры, а также с переходами между различными температурными уровнями в рабочем диапазоне.

2. В пятой главе диссертации недостаточно полно описано, в чём заключается новизна предложенного метода алгоритмической компенсации теплового дрейфа ВОГ в реальном времени, выносимого в защищаемые положения.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными, не затрагивают защищаемых автором положений и не ставят под сомнение высокий уровень работы.

## **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты исследования могут быть использованы при разработке и производстве волоконно-оптических гироскопов навигационного класса точности и измерительных модулей на их основе. Предложенные рекомендации, без сомнения, позволяют повысить стабильность выходного сигнала ВОГ. Результаты исследования: расчетные данные и рекомендации по конструкторским решениям – могут служить основой для изготовления волоконных контуров ВОГ с лучшими температурными и механическими характеристиками. Применение предложенного метода алгоритмической компенсации температурного дрейфа позволило добиться существенного повышения точностных параметров ВОГ.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для дальнейшего использования и внедрения в отраслевых научно-исследовательских организациях и предприятиях, занимающихся разработкой и созданием различных волоконно-оптических датчиков и измерительных систем на их основе. Материалы диссертации могут быть также использованы в курсах лекций, практических и лабораторных занятиях.

## **Заключение**

Диссертационная работа Савина М.А. выполнена на высоком научно-методическом уровне, результаты, полученные в ходе исследования имеют важное теоретическое и практическое значение для науки и производства. Диссертация Савина М.А. является завершенной научно-исследовательской работой и может служить основой для дальнейших исследований по заданной тематике. Основные результаты диссертационной работы изложены в ведущих научных журналах и материалах всероссийских и международных

конференций. Диссертация написана ясным физическим языком, логично и четко выстроена. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертационной работы и соответствует ее основным выводам.

На основании выполненных автором исследований предложен ряд методик и усовершенствований, направленных на решение научно-технической задачи, имеющей важное практическое значение, а именно – повышение стабильности выходного сигнала волоконно-оптического гироскопа в условиях внешних температурных и механических возмущений.

На основании изложенного можно заключить, что диссертация Савина Максима Анатольевича соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 01.10.2018), предъявленным к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Савин М.А. заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертационная работа Савина Максима Анатольевича рассмотрена на заседании ведущих специалистов отдела 084 АО «КОНЦЕРН «ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР». Отзыв рассмотрен и одобрен на этом же заседании (Протокол №541/084 от 13.11.2018 г.).

Зам. начальника отдела 084, к.т.н. \_\_\_\_\_

 Унтилов А.А.

Начальник группы, к.т.н. \_\_\_\_\_

 Рупасов А.В.

Научный сотрудник, к.т.н. \_\_\_\_\_

 Новиков Р.Л.

Ведущий инженер \_\_\_\_\_

 Егоров Д.А.