

УТВЕРЖДАЮ

Начальник управления научно-  
организационной деятельности

Санкт-Петербургского  
политехнического университета  
Петра Великого.



А.М. Митрофанов

2017 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого на диссертационную работу Есипенко Ивана Александровича «Построение и верификация модели нестационарного теплового воздействия на контур волоконно-оптического гироскопа с целью минимизации его теплового дрейфа», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

### **Актуальность темы диссертации**

Кажущаяся угловая скорость (тепловой дрейф) волоконно-оптического гироскопа возникающая при действии нестационарной тепловой нагрузки на его контур значительно снижает точность прибора, а, следовательно, является существенной проблемой для разработчиков. Несмотря на большое количество работ по данной тематике, до сих пор в полной мере не разработан инструмент для оценки эффективности принимаемых конструкторских решений, направленных на минимизацию теплового дрейфа. Решению этой актуальной задачи, включающей построение математической модели теплового дрейфа, ее численную реализацию и экспериментальную верификацию, посвящена диссертационная работа И.А. Есипенко.

### **Общая характеристика работы**

Во **введении** показана актуальность комплексного исследования теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа при нестационарном температурном воздействии на волоконный контур, формулируются цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, перечисляются методы

личный вклад автора, представляются положения, выносимые на защиту, описываются апробация результатов и структура диссертации.

**В первой главе** содержится аналитический обзор научной литературы по теме диссертационного исследования, а именно, описываются существующие математические модели и пути снижения теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа, рассматривается экспериментальная верификация, приводится анализ недостатков.

**Вторая глава** посвящена построению математической модели теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа при нестационарном тепловом воздействии на волоконный контур, установленный в специально спроектированное приспособление. Строится функционал кажущейся угловой скорости при воздействии температуры и упругих деформаций на изменение длины и показателя преломления светопроводящей жилы оптического волокна. Описывается конструкция приспособления для теоретического и экспериментального исследования теплового дрейфа, которая обеспечивает осесимметричное распространение температуры и минимизирует механические нагрузки на контур от сопряжения с корпусными деталями. Формулируется начально-краевая несвязанная квазистационарная задача термоупругости с детальным учетом физико-механических свойств составляющих волоконного контура.

**В третьей главе** проводится комплексное исследование теплового дрейфа для модифицированной квадрупольной схемы намотки волоконного контура. Для верификации упругих деформаций решена стационарная задача термоупругости с однородным полем температуры. С помощью оптического импульсного анализатора экспериментально установлены сдвиги бриллюэновских частот на двух температурах, из которых получено распределение деформаций. Сопоставление расчетных и экспериментальных деформаций позволило уточнить коэффициент Пуассона слабо сжимаемого первичного покрытия волоконного контура. Для определения коэффициента теплоотдачи между деталями приспособления и принудительно движущимся воздухом в термокамере решение нестационарной задачи теплопроводности сравнивается с экспериментальными данными с двух датчиков температуры, установленных в оснастке. Для определения скоростей температур и деформаций, входящих в функционал кажущейся угловой скорости, решается квазистационарная задача термоупругости. Представлены результаты расчета

составляющих кажущейся угловой скорости и суммарный тепловой дрейф в сравнении с экспериментальными данными.

**Четвертая глава** посвящена минимизации теплового дрейфа. На первом этапе изменена схема намотки на оригинальную квадрупольную, в которой равноудаленные от центра световода участки располагаются вплотную друг к другу, приведен расчет теплового дрейфа в сравнении с экспериментальными данными. На втором этапе изменена геометрия волоконного контура, произведен расчет максимальных амплитуд дрейфа. На третьем этапе изменена схема намотки на октупольную, представлены расчетные и экспериментальные данные теплового дрейфа.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

#### **Научная новизна**

К основным результатам, полученным соискателем, определяющим научную новизну и значимость работы, следует отнести:

– построена, численно реализована и подтверждена экспериментом математическая модель теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа, включающая функционал кажущейся угловой скорости, учитывающий термооптический и упругооптический эффекты и квазистационарную задачу термоупругости с детальным учетом неоднородности физико-механических свойств волоконного контура;

– реализована методика изучения теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа с использованием приспособления бескаркасного крепления волоконного контура, конструкция которого минимизирует возмущение напряженно-деформированного состояния волоконного контура от сопряжения с корпусными деталями;

– разработан метод верификации упругих деформаций на уровне волокна, исключая собственное напряженно-деформированное состояние волоконного контура, в рамках построенной модели при стационарном температурном воздействии с использованием оптического импульсного анализатора;

– выявлены качественные и количественные различия функционала теплового дрейфа в зависимости от особенностей намотки волоконного контура.

**Автореферат диссертации** соответствует ее содержанию, отражает актуальность темы исследования, ее цели и задачи, научную новизну, практическую значимость, обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов, сформулированных в диссертации.

## **Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати**

Основное содержание диссертационной работы, ее главные идеи и результаты в полной мере опубликованы в трех рецензируемых российских журналах из рекомендованного ВАК перечня, специализирующихся на приборостроительной тематике, механике деформируемого твердого тела и вычислительным методам.

**Достоверность** полученных результатов не вызывает сомнений, так как результаты численных расчетов согласуются с данными серии экспериментов, организованных в ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания». Избыточность системы выполненных экспериментов подтверждает внутреннюю непротиворечивость разработанной модели.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке комплексной методики расчета теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа при действии нестационарной тепловой нагрузки, которая позволяет на этапе проектирования прибора определять величину кажущейся угловой скорости и оценивать применяемые конструкторские решения без проведения дополнительных экспериментальных исследований, снижая сроки и затраты на разработку конечного изделия. Данная методика внедрена в ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания». Результаты диссертационного исследования Есипенко И.А. также могут быть использованы другими предприятиями, проектирующими волоконно-оптические гироскопы, например, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», ООО НПК «Оптолинк», ЗАО «Физоптика».

### **Замечания по диссертации**

1. В автореферате и диссертации отсутствует схема, поясняющая распространение света в волоконно-оптическом гироскопе. Наличие такой схемы было бы чрезвычайно полезно для описания и оптимизации работы устройства.

2. Для расчета термоупругих свойств волоконно-оптического гироскопа было бы полезно рассмотрение модели, в которой обмотка была бы заменена материалом с эффективными свойствами.

3. Результаты работы, связанные с минимизацией теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа, основаны на рассмотрении осесимметричной модели. Возникает вопрос: в случае неосесимметричного нагрева устройства не приведут ли предлагаемые рекомендации к увеличению теплового дрейфа?

**Отзыв ведущей организации был обсужден на заседании кафедры «Теоретическая механика» Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.**

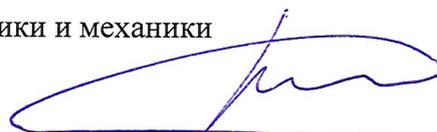
**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа Есипенко И.А. является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, несомненен и личный вклад автора в науку.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» считает, что диссертация Есипенко Ивана Александровича «Построение и верификация модели нестационарного теплового воздействия на контур волоконно-оптического гироскопа с целью минимизации его теплового дрейфа» является научно-квалификационной работой соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры, а ее автор Есипенко Иван Александрович заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Диссертационная работа Есипенко И.А. рассмотрена и обсуждена на семинаре кафедры «Теоретическая механика» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, протокол №4 от 24.11.2017 г.

Директор Института прикладной математики и механики  
Доктор физико-математических наук

 М.Е. Фролов

Отзыв составил профессор кафедры «Теоретическая механика»  
Института прикладной математики и механики

 Ю.Е. Карякин

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»  
195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая улица, дом 29  
Телефон: 8 (812) 775-05-30  
e-mail: office@spbstu.ru

