

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Лесниковой Юлии Игоревны «Математическое моделирование
термовязкоупругого поведения оптических волокон типа Panda и его
конструктивных элементов», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Актуальность темы.

Диссертационная работа Лесниковой Ю.И. посвящена решению актуальной проблемы – созданию математических моделей анизотропного одномодового оптического волокна типа Panda и его конструктивных элементов, которые применяются в оптоволоконных датчиках, и их исследованиях в рамках компьютерного инжиниринга. Анализ влияния свойств материалов волокна и полимерных покрытий, геометрии конструкции, внешних воздействий и контактного сопряжения элементов волноводов с разными объектами позволил получить важные данные о работе изделия. Это особенно актуально в связи с тенденцией современного мира к миниатюризации измерительных приборов. Разработка микро/нано приборов с низкой стоимостью изготовления и энергопотребления, но высокой точностью, является одним из приоритетных направлений. Данные исследований могут быть использованы при рационализации конструкции и расширении сфер применения оптических волокон.

Анализ содержания диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 113 страницах, содержит 61 иллюстрацию и 12 таблиц. Список литературы включает 140 наименований.

Во введении представлен краткий обзор, отражающий современное состояние вопросов исследования, сформулированы цель, задачи, научная новизна и положения, выносимые на защиту, описаны методы и методология диссертационного исследования, теоретическая и практическая значимость, указан личный вклад автора, сделано заключение об актуальности темы и приведены основные результаты.

Первая глава посвящена литературному обзору современного состояния исследования в области математического моделирования анизотропных оптических волокон типа Panda. Соискателем был проведен анализ имеющихся математических моделей, применяемых для прогнозирования напряженно-деформированного состояния в волокне, рассмотрена технология изготовления анизотропных оптических волокон типа Panda, физико-механические свойства кварцевых стекол и материалов защитно-

упрочняющих покрытий. Были выявлены недостатки существующих подходов и обоснована актуальность диссертационного исследования.

Анализ технологического процесса изготовления волокна выявил проблемы при производстве: нарушение прочности заготовок силовых стержней, приводящее к браку изделия, и несовершенство процедуры отбора волокна для использования в волоконно-оптическом гироскопе. Диссертационное исследование посвящено решению выявленных проблем, для чего необходимо построение математических моделей оптического волокна типа Panda и заготовки его конструктивного элемента с учетом технологических остаточных напряжений.

Во второй главе приведена общая концептуальная и математическая постановка задач технологической механики оптических волокон, описаны основные уравнения и принятые гипотезы. В диссертационном исследовании используется три математические модели: модель формирования остаточных напряжений в стеклюющихся материалах, модель трехточечного изгиба для определения прочности конструктивного элемента волокна – заготовки силового стержня и модель технологической пробы – испытания для отбора волокон для волоконно-оптического гироскопа в приближенных к реальным условиям. Рассмотрены свойства полимерных материалов защитно-упрочняющих покрытий и выбрана вязкоупругая модель для описания их поведения с использованием обобщенной модели Максвелла.

Третья глава посвящена выносимой на защиту трехмерной параметризованной математической модели испытания на трехточечный изгиб заготовок силовых стержней анизотропных оптических волокон типа Panda. Соискателем было проведено комплексное численно-экспериментальное исследование конструкционной прочности заготовок силовых стержней.

Были проведены натурные эксперименты по исследованию прочности заготовок силовых стержней, которые испытывались по схеме трехточечного изгиба до полного разрушения с фиксацией силы разрушения и прогиба стержня. Для сравнения характера разрушения были также испытаны стержни из чистого кварцевого стекла. Соискателем были выявлены три группы образцов с похожим поведением: 1) стержни из чистого кварцевого стекла, 2) силовые стержни с легированной сердцевиной, 3) силовые стержни с легированной сердцевиной, подвергавшиеся высокотемпературному отжигу и выдержавшие аномально высокие нагрузки.

Для математического моделирования натурального эксперимента был разработан алгоритм, включающий несколько последовательных этапов: определение технологических остаточных напряжений, построение трехмерной модели силового стержня, моделирование трехточечного изгиба с фиксацией максимальных значений характеристик, использующихся для оценки прочности. Получено удовлетворительное совпадение прогибов в натурном и численном экспериментах. По каждой выявленной группе образцов был проведен статистический анализ разбросов критериальных

величин. Для заготовок силовых стержней (2 группа) был определен критерий конструкционной прочности. Для заготовок силовых стержней (3 группа) было проведено моделирование высокотемпературного отжига с использованием модели формирования остаточных напряжений, но полученные критериальные величины имели большой разброс. Для выявления критерия прочности требуется уточнение математической модели с учетом микроструктурных изменений стекол после высокотемпературного отжига.

Четвертая глава посвящена выносимой на защиту трехмерной параметризованной математической модели анизотропного оптического волокна типа Panda с полимерным защитно-упрочняющим покрытием в условиях технологической пробы при термоциклировании в диапазоне температур $[-60^{\circ}\text{C}; +60^{\circ}\text{C}]$. Соискателем была проведена оценка влияния различных геометрических параметров конструкции на работоспособность модели в рамках термовязкоупругости: технологические напряжения, деформационные и оптические характеристики. В главе представлены результаты моделирования технологических остаточных напряжений в волокне типа Panda, которые используются для создания начального напряженно-деформированного состояния волокна. Было проведено численное исследование характера сопряжения защитно-упрочняющего покрытия и оптического волокна, для расчетов принят идеальный контакт. Исследовано изменение деформационных и оптических характеристик системы при вариациях радиуса катушки, при несоосности центра волокна и светопроводящей жилы и при изменении соотношения толщин защитно-упрочняющих покрытий. На основе математической модели технологической пробы соискателем было проведено исследование свободной намотки волокна и его качественное сравнение с результатами натуральных испытаний. При моделировании была учтена зависимость коэффициента термического расширения материалов защитно-упрочняющих покрытий от температуры. Анализ результатов численных исследований позволил выявить зависимости деформационных и оптических характеристик волокна типа Panda от изменяемых параметров.

В заключении приведены основные выводы диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы:

В работе описаны и разработаны пространственные математические модели с физическими соотношениями теории вязкоупругости для анизотропных оптических волокон типа Panda и его конструктивных элементов. Математическая модель поведения заготовки силового стержня с учетом неоднородного легирования и температурных остаточных напряжений позволила впервые для такой конструкции определить критерий прочности на основе сопоставления результатов натуральных и численных экспериментов. Была разработана методика выбора критерия прочности, которая может применяться для подобных конструкций, имеющих другие профили легирования. Полученный критерий прочности может использоваться для

анализа условий разрушения на различных этапах производства, а также при оптимизации конструкции.

Математическая модель технологической пробы, в которой волокно находится в условиях приближенных к волоконно-оптическому гироскопу, с учетом полимерного защитно-упрочняющего покрытия позволила получить новые закономерности эволюции полей технологических напряжений и связанных с ними оптических характеристик волокна Panda. Новизна заключается в учете вязкоупругого поведения полимерного защитно-упрочняющего покрытия, а также в учете зависимости его коэффициента термического расширения от температуры. Построенная математическая модель технологической пробы позволит перейти к моделированию теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа.

Практическая и теоретическая значимость результатов работы.

Практическая значимость работы заключается в использовании результатов работы в ПАО «ПНППК», а именно методики выбора и определения критерия прочности силового стержня и результатов исследования закономерностей формирования технологических напряжений и их влияния на оптические характеристики в рамках технологической пробы. В результате исследования были разработаны новые программные модули для конечно-элементного программного пакета ANSYS Mechanical APDL, позволяющие моделировать термовязкоупругое поведение оптического волокна Panda и заготовки силового стержня, оформленные свидетельствами о регистрации программ на ЭВМ.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии численных методов решения задач, посвященных конструкциям из стеклующихся материалов, с вязкоупругой постановкой.

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов.

Сформулированные в диссертационной работе заключения и выводы обоснованны. Они подтверждаются корректным использованием математического аппарата и численных методов механики деформированного твердого тела, сходимостью вычислительных алгоритмов программ, удовлетворительным уровнем соответствия результатов моделирования с натурными экспериментами и данными других авторов. Основные результаты работы доложены и обсуждены на 12 всероссийских и 8 международных конференциях.

Замечания. К содержанию диссертации можно сделать следующие замечания.

1. В диссертации достаточно полно исследуются те задачи, которые были поставлены, но не хватает отражения, насколько эффективно полученные в работе результаты могут быть использованы для моделирования других типов оптических волокон.

2. С математической точки зрения работа оформлена аккуратно. Но ряд введенных параметров не объяснен (например, ξ и A в формуле (2.14)), также не объяснено, почему именно такие значения параметров были выбраны для компьютерного моделирования.
3. Не объяснен выбор для конечно-элементного моделирования именно таких элементов ANSYS как SOLID185, CONTA173 и TARGE170.
4. Оформление диссертации на высоком уровне, но наличествует ряд опечаток (например, пропущенный знак градуса “20 С” на стр. 14 и т.д.) и недостатков в оформлении.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Лесниковой Ю.И.

Соответствие диссертационной работы указанной специальности.

Диссертационная работа Лесниковой Юлии Игоревны по содержанию и полноте изложенного материала соответствует паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: пункту № 4 – «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»; пункту № 5 – «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента» и пункту № 9 – «Постановка и проведение численных экспериментов, статистический анализ их результатов, в том числе с применением современных компьютерных технологий».

Заключение.

Считаю, что диссертационная работа Лесниковой Юлии Игоревны «Математическое моделирование термовязкоупругого поведения оптических волокон типа Panda и его конструктивных элементов» является завершенной научно-квалификационной работой, полученные результаты являются новыми, актуальными и имеют высокую научную и практическую значимость.

Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и 12.10.18 № 1168), а ее автор Лесникова Юлия Игоревна достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
Заведующая лабораторией анализа и синтеза динамических систем в прецизионной механике Института проблем точной механики и управления – обособленного структурного подразделения Федерального государственного

Официальный оппонент,
Заведующая лабораторией анализа и синтеза динамических систем в прецизионной механике Института проблем точной механики и управления – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», доктор физико-математических наук,

«02» 02 2023 г.

11
7

Барулина Марина Александровна

Подпись д-р физ.-мат. наук Барулиной М.А.
заверяю

Зам. директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук»



Канд. экон. наук.
Брель Валерий Константинович

Барулина Марина Александровна, доктор физико-математических наук, заведующая лабораторией анализа и синтеза динамических систем в прецизионной механике Института проблем точной механики и управления — обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук»

Адрес организации: 410028, Саратовская область, г. Саратов, ул. Рабочая, 24

Телефон: +7 917 321 05 02

E-mail: marina@barulina.ru

Наименование научной специальности, по которой была защищена докторская диссертация: 05.13.18 (1.2.2) Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ