

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.01.19  
по диссертации Лесниковой Юлии Игоревны  
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Математическое моделирование термовязкоупругого поведения оптических волокон типа Panda и его конструктивных элементов» по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 20 декабря 2022 года (протокол заседания № 10) диссертационным советом Д ПНИПУ.01.19, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета № 35-О от 06.04.2022 г. в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

Диссертация выполнена на кафедре «Вычислительная математика, механика и биомеханика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – кандидат технических наук Труфанов Александр Николаевич, проректор по молодежной политике и информатизации ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

**Официальные оппоненты:**

1. Барулина Марина Александровна, доктор физико-математических наук, специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 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».

2. Голуб Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, специальность 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, доцент, заведующий кафедрой теории функций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный университет».

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»; отзыв ведущей организации утвержден проректором по учебной работе, кандидатом физико-математических наук Бабушкиной Еленой Вадимовной, заслушан на заседании кафедры прикладной математики и информатики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» и подписан доктором физико-математических наук, профессором Русаковым Сергеем Владимировичем и Ученым секретарем Ученого совета ПГНИУ Антроповой Еленой Петровной.

По теме диссертации соискателем опубликовано 35 научных трудов, в том числе 8 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание учёной степени, и в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования (Web of Science и / или Scopus), 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 1 статья в журнале, входящем в перечень РИНЦ, и 24 публикации в тезисах докладов и материалах конференций. В тексте диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

#### **Наиболее значимые публикации по теме диссертации:**

1. **Lesnikova Y.I., Smetannikov O.Y., Trufanov A.N., Trufanov N.A.** Contact stresses modeling at the Panda-type fiber single-layer winding and evaluation of their impact on the fiber optic properties // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 177: Intern. Conf. on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2016, 2729 October 2016, Tomsk, Russian Federation. – Art. 012116. (**WoS, Scopus**) 5 стр. / 2 стр. *Статья посвящена исследованию контактных поперечных сил при намотке волокна типа Panda на катушку. Рассматривалось два радиуса катушки и две ориентации силовых стержней в волокне. Установлено влияние натяжения волокна на двулучепреломление.*

*Вклад соискателя. Разработка модели с учетом изгиба, ее численная реализация на ЭВМ, проведение серии численных экспериментов и их анализ.*

2. **Lesnikova Y.I., Trufanov A.N.** The effect of contact influence on the opticomemchanical properties of Panda-type fiber under thermocycling conditions // Journal of Physics: Conference Series. - 2018. - Vol. 1129. - Art. 012023. (**WoS, Scopus**) 6 стр. / 3 стр. *В работе проведен анализ влияния положения светопроводящей жилы на эволюцию полей напряжений и оптические характеристики волокна в рамках термоцикла. Установлено, чем больше отклонение геометрии волокна от проектных значений, тем большее влияние на его оптические характеристики оказывает изменение температуры.*

*Вклад соискателя. Разработка алгоритмов, создание программ для ЭВМ, проведение серии численных экспериментов, визуализация результатов; анализ результатов выполнен совместно с научным руководителем А.Н. Труфановым.*

3. **Lesnikova Y.I., Trufanov A.N., Kamenskikh A.A.** Analysis of the polymer two-layer protective coating impact on Panda-type optical fiber under bending // Polymers. – 2022. – Vol.14. – Art. 3840. (**WoS, Scopus**) 19 стр. / 10 стр.

*В статье описано влияние изгиба на поведение волокна типа Panda при трех вариантах радиуса катушки. На малом радиусе исследовано влияние соотношения толщин покрытий при сохранении внешнего диаметра на деформационные и оптические характеристики системы. Установлены качественные и количественные*

закономерности влияния температуры, изгиба, толщины отдельных слоев полимерного покрытия и релаксационных переходов в материалах.

*Вклад соискателя. Разработка алгоритмов, создание программ для ЭВМ, проведение серии численных экспериментов, визуализация результатов; анализ результатов выполнен совместно с научным руководителем А.Н. Труфановым.*

4. Труфанов А.Н., Лесникова Ю.И., Труфанов Н.А., Сметанников О.Ю. Выбор критерия конструкционной прочности неоднородного кварцевого стержня на основе натуральных и вычислительных экспериментов // Вычислительная механика сплошных сред = Computational continuum mechanics. – 2016. – Т. 9, № 1. – С. 97-108. (ВАК) 12 стр. / 3 стр.

*Статья посвящена анализу прочности заготовки силового стержня волокна типа Panda на основе комплексного численно-экспериментального исследования, определен критерий конструкционной прочности.*

*Вклад соискателя. Участие в постановке и реализации серии натуральных испытаний; численное моделирование задачи, серия вычислительных экспериментов, обработка и анализ результатов выполнены совместно с научным руководителем А.Н. Труфановым.*

5. Лесникова Ю.И., Сметанников О.Ю., Труфанов А.Н. Численное моделирование контактного термосилового воздействия на оптическое волокно в полимерном защитно-упрочняющем покрытии // Научно-технический вестник Поволжья. - 2018. - № 2. - С. 28-31. (ВАК) 4 стр. / 1 стр.

*В работе представлена математическая модель влияния термосилового нагружения анизотропного оптического волокна типа Panda, с учетом контактного взаимодействия с катушкой, микроизгиба и реологических свойств защитно-упрочняющих покрытий. В результате численных экспериментов установлено, что напряжения, вызванные силовой намоткой, в большей степени релаксируют при нагреве и выдержке уже на первом цикле изменения температуры, и далее практически не отличаются от соответствующих значений на последующих циклах.*

*Вклад соискателя. Разработка алгоритмов, создание программ для ЭВМ, проведение серии численных экспериментов, визуализация результатов; анализ результатов выполнен совместно с научным руководителем А.Н. Труфановым.*

6. Лесникова Ю.И., Труфанов А.Н., Сметанников О.Ю. Исследование оптико-механических характеристик волокна в условиях термоцикла // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 6(2). – С. 255-260. (ВАК) 6 стр. / 2 стр.

*В работе приведена математическая постановка задачи технологической пробы, построена численная модель контактного взаимодействия катушки с анизотропным оптическим волокном в защитно-упрочняющем покрытии при силовой однорядной намотке в условиях термоцикла. В результате численных экспериментов были получены зависимости, описывающие эволюцию полей напряжений в волокне, а также связанные с ними оптические характеристики.*

*Вклад соискателя. Разработка алгоритмов, создание программ для ЭВМ, проведение серии численных экспериментов, визуализация результатов; анализ результатов выполнен совместно с научным руководителем А.Н. Труфановым.*

7. Лесникова Ю.И., Каменских А.А., Пащенко М.М. Математическое моделирование контактного взаимодействия оптического волокна типа PANDA с алюминиевым полупространством при разном характере сопряжения элементов // Прикладная математика и вопросы управления = Applied Mathematics and Control Sciences. – 2022. – № 3. – С. 45-65. (ВАК) 22 стр. / 12 стр.

*В статье рассмотрены четыре модели контактного взаимодействия элементов оптического волокна с полимерным двухслойным покрытием и металлической*

*поверхностью сопряжения. Исследование направлено на оценку влияния характера сопряжения элементов оптического волокна типа Panda на напряженно-деформированное состояние. Рассматривалось совместное деформирование, контактная склейка, фрикционный контакт и разное их сочетание. Вклад соискателя. Постановка задачи, численное моделирование и обработка результатов.*

8. **Лесникова Ю.И.** Анализ влияния двухслойного защитно-упрочняющего покрытия на деформационные и оптические характеристики волокна типа Panda // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2022. – Т. 24, № 1. – С. 49–61. (ВАК) 13 стр. / 13 стр.

*В работе выполнено описание математической модели технологической пробы волокна типа Panda в рамках термоциклирования с изгибом и натягом по алюминиевой катушке. Рассмотрено влияние геометрических размеров катушки и несовершенства соотношения толщин полимерных защитно-упрочняющих покрытий на работу системы и оптические характеристики. Описаны основные эффекты влияния на напряженно-деформированное состояние волокна и оптику параметров модели в широком диапазоне температур, установлены новые качественные и количественные закономерности.*

*Вклад соискателя. Работа выполнена соискателем лично и без соавторов.*

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022669739 «Трехточечный изгиб заготовок силовых стержней анизотропных оптических волокон типа Panda» / **Лесникова Ю.И.**, Труфанов А.Н., Сметанников О.Ю., Каменских А.А. Дата регистрации 25.10.2022. 100% / 30%

*Программа предназначена для моделирования термомеханического поведения конструктивных элементов заготовок для вытяжки оптического волокна типа Panda в условиях технологических процессов их изготовления и эксперимента на трехточечный изгиб с учетом остаточных технологических напряжений.*

*Вклад соискателя. Разработка плоской модели заготовки силового стержня, моделирование поля остаточных деформаций, создание трехмерной модели и технологии имплантации поля остаточных деформаций в рамках моделирования технологического процесса, моделирование трехточечного изгиба.*

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022669757 «Программа испытания анизотропного волокна типа Panda с учетом изгиба и натяга в широком диапазоне температур от -60 до +60 °С» / **Лесникова Ю.И.**, Труфанов А.Н., Сметанников О.Ю., Каменских А.А. Дата регистрации 25.10.2022. 100% / 30%

*Программа предназначена для моделирования термомеханического поведения анизотропного оптического волокна типа Panda с учетом двухслойного полимерного защитно-упрочняющего покрытия с учетом остаточных технологических напряжений, релаксационных переходов в объемах полимерных материалов, изгиба, натяга и контакта с алюминиевой катушкой в широком диапазоне температур от -60 до +60 °С.*

*Вклад соискателя. Имплантация моделей поведения материалов защитно-упрочняющих покрытий в программный комплекс ANSYS, моделирование остаточных напряжений в волокне после вытяжки, создание трехмерной параметризованной модели однорядного натяга оптического волокна на алюминиевую катушку с постоянной силой натяжения в рамках механики контактного взаимодействия.*

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

- **разработаны** пространственные параметризованные математические модели с физическими соотношениями теории вязкоупругости для анизотропных оптических волокон типа Panda и их конструктивных элементов;
- **получены** величины критериальных характеристик прочности заготовок силовых стержней с учетом неоднородного легирования и температурных остаточных напряжений на основе комплексных численных и экспериментальных исследований;
- **разработаны** комплексы программ на языке APDL для конечно-элементного программного пакета ANSYS, которые позволили выполнить моделирование термовязкоупругого поведения оптического волокна Panda и заготовки силового стержня;
- **выполнено** математическое моделирование термовязкоупругого поведения волокна Panda, включая полимерное защитно-упрочняющее покрытие, при сложном термосиловом нагружении с анализом эволюции напряженно-деформационного состояния и оптических характеристик конструкции;
- **получены** закономерности эволюции полей напряжений и связанных с ними оптических характеристик волокна Panda в защитно-упрочняющем покрытии при сложном термосиловом воздействии на основе комплексного исследования с применением вычислительных экспериментов.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в формировании методики решения прикладных задач технологической механики анизотропных волокон, имеющих выраженный междисциплинарный характер. Данная работа способствует адаптации известных численных методов решения задач термовязкоупругости неоднородных стеклюющихся тел, а также позволяет научно-обоснованно подойти к проектированию оптоволоконных изделий и совершенствованию технологических процессов изготовления волокна и его конструктивных элементов.

**Практическая значимость** полученных соискателем результатов определяется тем, что предложенные математические модели, алгоритмы и комплексы программ использованы в технологических процессах производства и тестирования оптических волокон типа Panda в ПАО «ПНППК». На основе результатов диссертации сформулированы рекомендации и определены технологические решения, позволяющие улучшить характеристики продукции из анизотропного волокна.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **обоснованность** результатов диссертационной работы определяется использованием фундаментальных физико-механических принципов при формулировке задач;
- **достоверность** полученных результатов подтверждается удовлетворительным соответствием результатов моделирования с данными натуральных экспериментов и в предельных случаях с известными решениями других авторов.

**Личный вклад соискателя состоит** в следующем: все отраженные в диссертации результаты получены Ю.И. Лесниковой лично или при ее непосредственном участии. Соискатель принимал активное участие в постановке задач

для численного моделирования. Автором самостоятельно проведена разработка алгоритмов, создание программ для ЭВМ на их основе, реализация численных экспериментов, обработка и визуализация результатов. Соискатель принимал непосредственное участие в постановке и реализации натурных испытаниях заготовок силовых стержней на трехточечный изгиб. Анализ результатов численных и натурных экспериментов выполнялся совместно с научным руководителем А.Н. Труфановым и другими коллегами. Интерпретация результатов и подготовка публикаций выполнена совместно с соавторами.

**Диссертационный совет пришёл к выводу** о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 января 2018 г. № 1-О: в ней содержится методика математического моделирования термовязкоупругого поведения оптического волокна типа Panda и его конструктивных элементов, реализация которой позволила получить данные о конструкционной прочности силовых стержней и закономерности изменения деформационных и оптических характеристик волокна типа Panda при сложном напряженно-деформированном состоянии системы в широком диапазоне температур в зависимости от характера внешнего термосилового нагружения и геометрических параметров объекта исследования. Разработаны практические рекомендации и определены технологические решения, которые позволили улучшить характеристики готовой продукции.

На заседании 21 февраля 2023 года диссертационный совет Д ПНИПУ.01.19 принял решение присудить Лесниковой Юлии Игоревне ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 1).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение учёной степени – 14, против присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.01.19,

д-р физ.-мат. наук, проф


  
исъ)

/Трусов Петр Валентинович/

Ученый секретарь дисс

а Д ПНИПУ.01.19,

канд. физ.-мат. наук

  
исъ)

/Кротова Елена Львовна/

«21» февраля 2023 г. М.П.