

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.508.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ
МЕХАНИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» МИНИСТЕРСТВА
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 2 октября 2024 г., № 6

О присуждении Труфанову Александру Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Термомеханические процессы в специальных оптических волокнах при их производстве и эксплуатации» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите 28 июня 2024 г. (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.1.508.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт прикладной механики Российской академии наук (125040, Россия, Москва, Ленинградский проспект, д. 7); приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета № 2144/нк от 27 ноября 2023 года.

Соискатель ТРУФАНОВ Александр Николаевич, 18 марта 1978 года рождения. В 2003 году защитил кандидатскую диссертацию «Математическое моделирование технологических и остаточных напряжений в анизотропных оптических волокнах» по специальности 01.02.04. Решением диссертационного совета Пермского государственного технического университета от 26.06.2003 №3 Труфанову Александру Николаевичу присуждена ученая степень кандидата технических наук (диплом кандидата наук КТ № 107790 от 14.11.2003). Работает первым проректором – проректором по информатизации ФГАОУ ВО ПНИПУ с 2024 года.

Диссертация «Термомеханические процессы в специальных оптических волокнах при их производстве и эксплуатации» выполнена на кафедре

«Вычислительная математика, механика и биомеханика» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Минобрнауки России.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института механики сплошных сред УрО РАН, г.Пермь, Шардаков Игорь Николаевич.

Официальные оппоненты:

АПТУКОВ Валерий Нагимович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой фундаментальной математики, ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь;

ЕРОФЕЕВ Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, директор Института проблем машиностроения РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», г. Нижний Новгород;

ФЕДУЛОВ Борис Никитович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теории пластичности, ФГБОУ ВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном член-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником ИПМаш РАН Беляевым А.К. и утвержденном Полянским В.А., директором Института проблем машиноведения РАН, в своем заключении указала, что в диссертации Труфанова Александра Николаевича проделана достаточно масштабная работа, выполнен значительный объем натурных и вычислительных экспериментов, а полученные результаты обладают признаками новизны, полезны для практических приложений, имеют ценность для теории механики

деформируемого твердого тела дополняя ее новыми фактами и данными. Диссертационную работу можно охарактеризовать как комплексное системное исследование, посвященное изучению термомеханических процессов в специальных оптических волокнах и, в том числе, решению широкого круга задач технологической механики, связанных с моделированием процесса производства и эксплуатации подобных изделий. Предложенные методики прогнозирования напряженно деформированного состояния в оптоволоконных изделиях дают возможность используя научно обоснованные подходы к проектированию создавать новые варианты конструкции специальных оптических волокон и современных измерительных систем на их основе, совершенствовать и рационализировать технологические процессы производства, снижать брак и улучшать эксплуатационные параметры таких изделий.

Полученные в рамках выполнения работы результаты, предложенные подходы и методики, обеспечивают значимый вклад в решение задач замещения отдельных этапов технологических цепочек на отечественные решения и обеспечения развития научного задела по стратегическим направлениям научно технологического развития, имеют практическую и теоретическую ценность для народного хозяйства РФ.

Таким образом, диссертационная работа А.Н. Труфанова представляется актуальной и востребованной, вносит значимый вклад в решение задач создания современных отечественных навигационных систем и обеспечения технологического суверенитета России. Это подтверждается использованием полученных результатов для совершенствования технологии производства оптоволоконных гироскопов, позволило сократить брак и улучшить эксплуатационные характеристики изделий.

Тексты представленной соискателем диссертационной работы и автореферата оформлены в соответствии с принятыми в научной литературе стандартами, изложение материала ясное, четкое, логически последовательное. Внутреннее единство диссертации прослеживается в

структуре работы, чёткой последовательности и связности отдельных её этапов, в единой логической линии постановки задач, натурных и вычислительных экспериментов.

Оформление диссертации и автореферата выполнено в соответствии с ГОСТом и требованиями ВАК, предъявляемыми к данному виду работ. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и ее вклад в развитие темы.

Принимая во внимание вышеизложенное, считаем, что диссертационная работа Труфанова Александра Николаевича «Термомеханические процессы в специальных оптических волокнах при их производстве и эксплуатации» выполнена на высоком научном и методическом уровнях, является законченным целостным научным исследованием, соответствует паспорту специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, отрасли - технические науки, а также удовлетворяет всем квалификационным требованиям ВАК РФ, установленным пп.9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденных постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор работы – Труфанов Александр Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Соискателем по результатам представленной работы опубликовано более 60 печатных работ, в том числе 18 из перечня, установленного Минобрнауки России для представления результатов докторских диссертаций, из них 11 публикаций в журналах, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus. Автором также получено 2 свидетельства о государственной регистрации ПО для ЭВМ на программные продукты, разработанные в рамках выполненных исследований.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Труфанов А.Н. Эволюция полей технологических напряжений в цилиндрическом силовом стержне для заготовки оптоволокна типа Panda

- в процессе отжига / Труфанов А.Н. // Вестник ПНИПУ. Механика – 2013. – № 1 – С. 210–220.
2. Труфанов А.Н. Об одном методе исследования коэффициента температурного расширения полимеров // Вестник ПНИПУ. Механика – 2024. – №2. – С.5–15.
 3. Shardakov I.N. Identification of the Temperature Dependence of the Thermal Expansion Coefficient of Polymers / Shardakov I.N., Trufanov A.N. // Polymers – 2021. Vol. 13, № 18. P. 3035.
 4. Trufanov A.N. Numerical analysis of residual stresses in preform of stress applying part for PANDA-type polarization maintaining optical fibers / A.N.Trufanov, O.Y.Smetannikov, N.A.Trufanov // Optical Fiber Technology – 2010. – Vol. 16 – № 3 – P. 156–161.
 5. Trufanov A.N. Numerical analysis of residual stresses in preforms of stress applying part for PANDA-type polarization maintaining optical fibers in view of technological imperfections of the doped zone geometry / Trufanov A.N., Trufanov N.A., Semenov N. V. // Optical Fiber Technology – 2016. – Vol. 31 – P. 83–91.
 6. Труфанов А.Н. Выбор критерия конструкционной прочности неоднородного кварцевого стержня на основе натуральных и вычислительных экспериментов. / А.Н.Труфанов, Ю.И.Лесникова, Н.А.Труфанов, О.Ю.Сметанников // Вычислительная механика сплошных сред – 2016. – Т. 9 – № 1 – С. 97–108.
 7. Lesnikova Y.I. Analysis of the Polymer Two-Layer Protective Coating Impact on Panda-Type Optical Fiber under Bending / Y.I.Lesnikova, A.N.Trufanov, A.A.Kamenskikh // Polymers – 2022. – Vol. 14 – № 18 – P. 3840.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов из следующих организаций:

1. «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь.
2. Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», г. Москва.
3. ПАО "Пермская научно-производственная приборостроительная компания", г. Пермь.
4. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар.
5. ФГБУН Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.
6. ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Институт математики, механики и компьютерных наук им. Воровича И.И., г. Ростов-на-Дону.

Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность, научная новизна и теоретическая значимость работы. Отзывы содержат ряд замечаний, основные из которых сводятся к следующим:

- В автореферате диссертации нет информации о том, как в исследовании учитывалась вариация геометрического центра нагружающего стержня по его длине. Известно, что такой эффект нередко наблюдается при провисании образца во время его изготовления методом MCVD, в то время как упомянутые автором установки типа РК2600 в базовой комплектации такой параметр не контролируют. (Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Пермь);

- нигде явно не указано, как исследованные эффекты в итоге влияют на одну из главных характеристик анизотропного световода: параметр

сохранения состояние поляризации (h-параметр)? (Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Пермь);

- каким образом в модели учитывается упомянутая на стр. 6 несовместность деформаций? (ПАО "Пермская научно-производственная приборостроительная компания", г. Пермь);

- соискателем упоминается эффект физического старения, установленный в некоторых образцах покрытий, как это явление может влиять на специальные волокна и какие еще процессы в полимерных покрытиях могут оказывать значимое влияние на эксплуатационные свойства оптоволоконных изделий? Проявляются ли такие явления в готовых изделиях? (Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», г. Москва);

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в рассматриваемой отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Согласия на оппонирование имеются.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработано обобщение физических соотношений вязкоупругости максвелловского типа, работающих в широком диапазоне изменения температур, включающем релаксационный переход, для описания термомеханического поведения кварцевых стекол и полимеров защитно-упрочняющего покрытия;

проведен анализ особенностей технологического процесса изготовления и эксплуатации оптического волокна «Панда», **сформулированы** и описаны расчетные схемы термомеханического поведения на ключевых этапах;

выполнен комплекс натурных исследований для идентификации и верификации определяющих соотношений, уточнения геометрии изделий на различных этапах изготовления, определения прочностных характеристик и уточнения данных о физико-механических свойствах материалов;

проведены численные исследования эволюции напряженного состояния в изделиях на ключевых этапах технологического процесса, с учётом различных вариантов конструкций, геометрии, профилей легирования, разных вариантов термосилового воздействия;

выполнено сопоставление результатов вычислительных экспериментов с данными натурных испытаний.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

предложено развитие математических моделей механики сплошных сред, описывающих термомеханическое поведение стеклующихся материалов с учётом несовместности температурных деформаций из-за различия коэффициентов температурного расширения вследствие неоднородного легирования материала и неоднородно распределенного релаксационного перехода;

получены новые экспериментальные результаты деформационного отклика полимеров в зависимости от температуры и скорости её изменения, способствующие более глубокому пониманию механизмов формирования остаточных напряжений в стеклующихся материалах;

В совокупности **полученные результаты** позволяют уточнить модели интерпретации регистрируемых параметров с оптоволоконных датчиков с целью повышения их точности.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих научной новизной результатов):

предложены новые прикладные математические модели формирования остаточных и технологических напряжений в неоднородных конструкциях из стеклующихся материалов на основе определяющих соотношений линейной

теории вязкоупругости, позволяющие с достаточной точностью описывать термомеханическое поведение специальных оптических волокон в широком диапазоне температур, включающем релаксационный переход;

установлены закономерности распределения геометрических параметров и их отклонений от проектных значений для заготовок силовых стержней и поперечного сечения специального оптического волокна «Панда»;

получены закономерности формирования остаточных напряжений в заготовках из неоднородно легированного кварцевого стекла на всех ключевых этапах изготовления специального оптического волокна типа «Панда».

получены новые данные о влиянии наблюдаемых в изделиях отклонений геометрии от проектных значений на эволюцию напряженно-деформированного состояния;

разработана новая методика определения прочностных характеристик на основании натуральных и вычислительных экспериментов и для одного из вариантов конструкции силового стержня впервые **определены** значения критериальных характеристик конструкционной прочности;

установлен факт частичной кристаллизации силового стержня при отжиге и роль этого явления в упрочнении изделия;

выполнена постановка задачи оптимизации и впервые **определен** оптимальный профиль легирования силового стержня, реализующий максимальную температурную деформацию при соблюдении условий прочности;

получены данные о закономерностях влияния защитно-упрочняющих покрытий на оптические характеристики специального оптического волокна типа «Панда» в различных условиях термосилового воздействия;

установлено, что коэффициент линейного температурного расширения полимеров существенно зависит не только от температуры, но и от скорости ее изменения; **представлены** данные демонстрирующие, что при циклическом изменении температуры в полимерах могут формироваться

остаточные деформации, обусловленные различием деформационного отклика при нагреве и охлаждении;

предложена новая методика натуральных испытаний для определения функциональной зависимости коэффициента линейного температурного расширения пленочных образцов от температуры и скорости ее изменения и для ряда полимеров впервые **установлены** такие температурные зависимости.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

представлены подходы и методики, являющиеся основой для разработки прикладных моделей, для прогнозирования и анализа напряженного состояния и обусловленных им оптических параметров в специальных оптических волокнах, с целью проектирования новых и улучшения существующих оптоволоконных изделий;

предложены методики, модели и реализованные на их основе алгоритмы и вычислительные программы, которые **внедрены** в ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» и **используются** при проектировании анизотропных оптических волокон и волоконно-оптических датчиков, в целях совершенствования технологии изготовления и развития математических методов интерпретации сигналов оптоволоконных сенсорных систем.

сформулированы рекомендации на основе полученных результатов для рационализации технологического процесса изготовления волокна типа «Панда», которые **использованы** для сокращения брака и улучшения эксплуатационных характеристик изделий на ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания»;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена с использованием известных представлений и законов физики и механики деформируемого твердого тела;

идея базируется на обобщении и развитии подхода к построению математических моделей для описания термомеханического поведения

стеклюющихся материалов с учетом неоднородного легирования и реализующегося неоднородно распределенного релаксационного перехода;

проведены натурные испытания с применением поверенных средств измерений и апробированных методик, что позволило обеспечить воспроизводимость и высокую точность полученных результатов;

установлено качественное и количественное соответствие результатов вычислительных и натуральных экспериментов; соответствие полученных данных известным работам других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в получении (лично или с его непосредственным участием) всех включенных в диссертацию результатов, в частности – в проведении аналитического обзора литературы, постановке задач, постановке и выполнении натуральных испытаний, обработке и анализе результатов экспериментов, формулировке определяющих соотношений, идентификации и верификации моделей, численной реализации моделей, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке выводов.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания. Соискатель Труфанов Александр Николаевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и сообщил, что учтет их в дальнейшей работе.

На заседании 02.10.2024 г. диссертационный совет принял решение:

за представленную совокупность научно обоснованных методами механики деформируемого твердого тела технологических решений, направленных на развитие технологии производства специальных оптических волокон, имеющих важное хозяйственное значение, соответствующую критериям (пп. 9-14) "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. присудить Труфанову Александру Николаевичу ученую степень доктора технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 5 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 11, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета 24.1.508.01,

д.т.н.



Власов А.Н.

Ученый секретарь

Диссертационного совета 24.1.508.01,

к.т.н.

A handwritten signature in purple ink, appearing to read "Корнев Ю.В.", is written over the stamp area.

Корнев Ю.В.

2 октября 2024 г.