



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279, ОКПО 02068574
ул. Политехническая, д. 29 литера Б,
вн. тер. г. муниципальный округ Академическое,
г. Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)552-60-80, office@spbstu.ru

№ _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Ю.В. Фомин



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Азановой Ирины Сергеевны «Радиационная стойкость волоконно-оптических компонентов интерферометрических датчиков физических величин», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Актуальность темы выполненной работы

Волоконно-оптические интерферометрические датчики (ВОИД) и их составные элементы сегодня находят всё более широкое применение в системах мониторинга состояния различных объектов, например, для измерения тока, механических деформаций, температуры, давления; в таких навигационных устройствах, как волоконно-оптические гироскопы (ВОГ).

Внешние воздействия способны снижать эффективность работы ВОИД. Высокий радиационный фон может не только уменьшить чувствительность таких датчиков, но и полностью вывести их из строя. Использование этих систем на космических аппаратах, атомных энергетических установках и других объектах специального назначения предъявляет жёсткие требования к их устойчивости при воздействии непрерывного, а также импульсного ионизирующего излучения (ИИ).

В публикациях, посвящённых радиационной стойкости ВОИД, обычно приводятся данные по конкретным образцам датчиков, при этом отсутствует сравнительный анализ вклада их отдельных компонентов. Это не позволяет применять полученные результаты при разработке других типов ВОИД.

Диссертационная работа Азановой И.С., посвященная анализу радиационной стойкости ключевых компонентов ВОИД в значительной степени закрывает данные пробелы. Так, в диссертации проведено сравнение РОС волокон при непрерывном и импульсном ИИ, систематически

исследованы побочные факторы, определяющие РОС компонентов ВОИД, а именно: уровень механических напряжений в оптических волокнах, мощность оптического, распространяющегося в чувствительном элементе, температура, а также интенсивность и вид воздействующего ионизирующего излучения.

Все вышесказанное позволяет признать тему диссертации и полученные в ней теоретические и экспериментальные результаты весьма актуальными для отраслей науки и промышленности, связанных с проблемами высокоточных измерений в агрессивных условиях внешней среды:

Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе

Научной новизной обладают следующие центральные результаты диссертационной работы:

1. Установлены волоконно-оптические компоненты, которые определяют устойчивость ВОИД при облучении как непрерывным, так и импульсным ионизирующим излучением.
2. Для оптических волокон с кварцевой сердцевиной зависимость радиационно-наведённых потерь на длине волны 1550 нм от входной оптической мощности и уровня внутренних механических напряжений обусловлена главным образом присутствием радиационных центров окраски с энергетическими полосами поглощения 0,95 эВ и 1,12 эВ.
3. Выявлены зависимости, описывающие связь процесса релаксации радиационно-наведённых потерь в оптическом волокне после импульсного облучения с дозой в импульсе, относительной продольной деформацией, температурой образца и мощностью входного оптического сигнала.
4. Уровень радиационно-оптической стойкости волоконного контура волоконно-оптического гироскопа определяется величиной внутренних упругих напряжений в сердцевине оптического волокна.
5. В анизотропном оптическом волокне с германосиликатной сердцевиной при воздействии импульсного ионизирующего излучения обнаружено возникновение короткоживущих радиационных центров окраски на длине волны 1550 нм со временем жизни до 0,1 мс.
6. Показано, что в анизотропных оптических волокнах с кварцевой сердцевиной в течение промежутка времени до 3 секунд после импульсного гамма-нейтронного воздействия происходит перераспределение радиационных центров окраски, что приводит к снижению радиационно-наведённых потерь в области длин волн свыше 1000 нм и одновременному их росту в области длин волн менее 1000 нм.

Представленные результаты вносят вклад в понимание физики взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов

Значимость полученных автором результатов для науки обусловлена следующими факторами. Предложенный метод исследования радиационно-оптической стойкости (РОС) составных частей волоконно-оптических интерферометрических датчиков физических величин (ВОИД) позволяет снизить влияние ошибки при оценке уровня облучения и гарантирует надёжность при определении интегральной РОС датчика.

Экспериментальные данные о радиационно-наведённых потерях оптических элементов волоконно-оптического гироскопа под действием ионизирующего излучения дают возможность прогнозировать аналогичные потери в оптическом тракте ВОИД при различных уровнях облучения, а также целенаправленно разрабатывать волоконно-оптические приборы, устойчивые к непрерывному и импульсному излучению.

Практическая значимость обусловлена тем, что результаты научных исследований соискателя легли в основу разработки и внедрения в промышленное производство технология изготовления радиационно-стойких гироскопических оптических волокон с нелегированной кварцевой сердцевиной, обеспечивающая сохранение поляризации излучения и высокое значение двулучепреломления (до $7,3 \cdot 10^{-4}$).

Изложенные в диссертации результаты апробированы в ПАО «ПНППК», где организован серийный выпуск радиационно-стойких волокон.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

При проведении исследований Азановой И.С. применялись общепринятые научные подходы, в качестве отправной точки при выполнении работы использовались труды российских и зарубежных учёных, ведущих специалистов в предметной области исследований; обеспечивается проведение исследований с использованием аттестованного и поверенного контрольно-измерительного оборудования, применением современных методов обработки экспериментальных данных. Данные факторы, а также публикация полученных научных результатов в ведущих научных журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых международными базами данных и представление на всероссийских и международных конференциях служат подтверждением достоверности и обоснованности научных положений, выносимых на защиту.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы рекомендуются для дальнейшего использования и внедрения в отраслевых научно-исследовательских

организациях и предприятиях, разрабатывающих высокоточные оптические интерферометрические измерительные устройства, эксплуатируемые в агрессивных внешних условиях.

Общая характеристика работы

Текст диссертации изложен на 341 странице, включает в себя введение, шесть основных разделов, заключение, список сокращений, список литературы, содержащий 240 ссылок, список трудов соискателя по теме диссертации и приложение. Во **введении** раскрыта актуальность работы, поставлены цель и задачи работы, отражены научная новизна и теоретическая и практическая значимости работы, сформулированы научные положения, выносимые на защиту. В **первой главе** проведен обзор источников научно-технической информации по теме диссертации. Рассмотрены основные требования к оптическим компонентам ВОИД на примере ВОГ. Во **второй главе** приводится методология диссертационного исследования, описаны основные эксперименты, включая источники ионизирующего излучения, методы контроля параметров экспериментов, тестируемые оптические волокна. В **третьей главе** показаны результаты исследования влияния непрерывного гамма-излучения на РНП в спектральном диапазоне длин волн от 900 нм до 1600 нм и величины h -параметра для ОБ PSiO_2 и PGeO_2 в условиях свободной намотки и волоконных контуров ВОГ. В **четвертой главе** представлены результаты исследования влияния импульсного ионизирующего излучения на РНП в спектральном диапазоне длин волн от 900 нм до 1600 нм ОБ PGeO_2 , ISiO_2 , PSiO_2 в виде свободной намотки и в виде волоконных контуров ВОГ. В **пятой главе** изучены вопросы, касающиеся радиационной стойкости суперлюминесцентного волоконного источника излучения. В **шестой главе** рассматриваются результаты исследований РОС оптических характеристик интегрально-оптической схемы из ниобата лития к воздействию непрерывного и импульсного ионизирующего излучения. В **седьмой главе** проведено обобщение и анализ полученных данных по стойкости рассматриваемых оптических компонентов ВОГ к воздействию ионизирующего излучения.

Содержание диссертационной работы в полной мере отображено в автореферате, а также в опубликованных автором 37 научных работах, в том числе в 12 статьях в рецензируемых журналах, 2 патентах, 2 статьях в трудах конференций, индексируемых международными базами данных. Апробация работы выполнена на более чем 15 международных и всероссийских научных конференциях.

Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК и адекватно отражает содержание диссертации. Также, в нем представлены основные положения, выносимые на защиту, продемонстрированы научная новизна исследования и подтверждена апробация работы.

Недостатки диссертационной работы

По материалу диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Каковы физические причины и физический (или химический) механизм обнаруженного перераспределения радиационных центров окраски в течение не более 3 ч после импульсного гамма-нейтронного воздействия?

2. Не вполне четко объясняется отождествление короткоживущих РЦО с собственными дырками, а долгоживущих РЦО – с деформационными дырками.

3. В диссертационной работе исследуются радиационные потери в оптических компонентах ВОИД. В то же время, для работы интерференционных датчиков может иметь большое значение изменение показателя преломления оптических компонентов, анализ которого в работе отсутствует.

4. В Главе 5 подробно анализируется влияние ионизирующего излучения на мощность излучения суперлюминисцентного волоконного источника, однако, недостаточно подробно исследовано влияние ИИ на форму и другие параметры спектра. Каков характер изменения средневзвешенной длины волны после окончания дозы облучения?

Данные замечания не являются критическими и не снижают общую ценность работы.

Заключение

Диссертационная работа Азановой И.С. «Радиационная стойкость волоконно-оптических компонентов интерферометрических датчиков физических величин» обоснованно отнесена к соисканию степени доктора физ.-мат. наук, выполнена на высоком научном уровне, изложена чётким и грамотным языком. Диссертация сопровождается ссылками на исчерпывающее количество библиографических источников, содержит совокупность новых научно обоснованных результатов и положений, имеющих высокую научную и практическую значимость. Диссертационная работа Азановой Ирины Сергеевны носит целостный характер и полно отражает личный вклад автора в полученные результаты.

С учётом вышесказанного можно сделать вывод о том, что диссертация Азановой Ирины Сергеевны «Радиационная стойкость волоконно-оптических компонентов интерферометрических датчиков физических величин» является **законченной научно-квалификационной работой**. С учетом вышесказанного, представленное диссертационное исследование полностью соответствует требованиям пп. 9 и 14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Азанова Ирина Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании Академического совета Высшей школы прикладной физики и космических технологий СПбПУ (протокол №2 от 28 апреля 2026).

Отзыв составили:

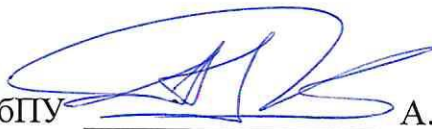


Леонид Борисович Лиюкумович, доктор физико-математических наук, профессор Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций СПбПУ, e-mail: leonid@spbstu.ru, тел. +79112878700.



Николай Александрович Ушаков, доктор физико-математических наук, профессор Высшей школы прикладной физики и космических технологий Института электроники и телекоммуникаций СПбПУ, e-mail: n.ushakoff@spbstu.ru, тел. +79219244351.

Директор Высшей школы прикладной физики и космических технологий СПбПУ



А.Л. Гельгор

Директор Института электроники и телекоммуникаций СПбПУ



А.С. Коротков

Данные об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

www.spbstu.ru

195251, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Академическое, ул. Политехническая, д.29 литера Б

Тел.: 8 (800) 707-18-99

E-mail: office@spbstu.ru