

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Резак Елены Владимировны
«Моделирование влияния деформации изгиба и температурной
деформации на параметры одномодового оптического волокна»,
представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 1.2.2 –
«Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ»

Актуальность темы диссертационного исследования

Исследование Резак Е. В. посвящено анализу воздействия внешних факторов, таких как изгибы и температурная деформация на характеристики одномодовых оптических волокон. Основная задача работы заключается в разработке математической модели, алгоритмов и программных средств, позволяющих оценивать влияние этих факторов на передачу оптических сигналов, а также использовать полученные результаты в проектировании и эксплуатации телекоммуникационных линий.

Актуальность выбранной темы обусловлена растущими требованиями к пропускной способности современных информационно-коммуникационных систем. В связи с активным развитием интернета, облачных решений и цифровых сервисов возрастает необходимость создания линий связи с высокой скоростью передачи данных. В этом контексте предпочтение отдается одномодовым оптическим волокнам, поскольку они обеспечивают минимальные потери и позволяют реализовать рекордные показатели скорости. Однако достижение этих целей сталкивается с рядом технических ограничений. В первую очередь это влияние внешних условий эксплуатации, которые значительно осложняют стабильность и качество передачи данных. В частности, механические деформации, такие как изгибы, и температурные изменения, могут вызывать увеличение потерь, задержек и искажений сигнала. Все это в долгосрочной перспективе негативно сказывается на надежности и эффективности систем связи. Особенно остро эти вопросы стоят при прокладке линий и эксплуатации в сложных климатических условиях. Поэтому внедрение математических моделей, способных адекватно описывать реальные условия эксплуатации, позволяет не только повысить точность оценки характеристик систем, но и существенно снизить расходы на эксплуатацию, ремонт и профилактические работы. Данное направление способствует созданию более устойчивых и долговечных волоконно-оптических линий, что отвечает современным стандартам надежности.

Использование современных методов моделирования в практике проектирования волоконно-оптических линий связи является ключевым направлением. При этом применение компьютерного моделирования в специализированных программных продуктах значительно ускоряет процесс разработки линий связи. А при разработке программных комплексов необходимо применять

математические модели, максимально точно отражающие влияние внешних воздействий на параметры оптического волокна. Такой подход позволяет обеспечить оптимальные параметры линий связи для повышения их стойкости и производительности.

Следовательно, результаты проведенного исследования имеют ключевое значение для повышения качества прогнозирования поведения оптических волокон при эксплуатации в реальных условиях. Созданные Резак Е. В. модели и алгоритмы позволяют точнее, чем ранее известные, оценивать потенциальные искажения и задержки, что способствует практическому внедрению решений в области телекоммуникационных систем и других областях, требующих высокой стабильности и надежности передачи информации. Это, в конечном счете, способствует развитию более устойчивых, экономически эффективных и технологически продвинутых систем связи, отвечающих современным требованиям быстро меняющегося цифрового мира.

Список использованной литературы содержит 134 наименования. Из них 16 работ являются публикациями автора по теме диссертации, включая 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК по специальности 1.2.2, 11 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК по другим специальностям, и в сборниках трудов конференций.

В приложениях представлены 2 свидетельства о государственной регистрации программы на ЭВМ, интерфейс программного продукта и акт внедрения результатов диссертационного исследования

Материалы диссертации представляют собой результат оригинального авторского исследования. Основные положения работы прошли широкую апробацию на многочисленных научно-практических площадках, включая конференции международного и всероссийского уровней. Высокий квалификационный статус и теоретическая значимость выводов подтверждаются серией публикаций в ведущих рецензируемых изданиях. Сформированная база научных трудов служит объективным доказательством достоверности полученных данных и их весомого вклада в развитие соответствующей отрасли науки.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость

В диссертации изложены фундаментальные результаты анализа физического состояния одномодового оптического волокна при сочетании воздействий механического изгиба и температурных деформаций.

Научная новизна работы заключается в построении уточнённой математической модели, которая впервые учитывает полную совокупность компонент относительных деформаций, включая квадратичные зависимости координат относительно оси волокна. На фундаменте этой модели получены оригинальные вычислительные алгоритмы и функционирует программный комплекс, обеспечивающий численный расчет и 3D-визуализацию характеристик волокна в рамках эксплуатационных режимов.

В ходе численного эксперимента обнаружены новые физические закономерности и скорректирована функция температурной зависимости длины

волокна. Установлено, что при изгибе волокно приобретает свойства оптически двухосной анизотропной среды, а в специфических точках оно проявляет характеристики оптически одноосного «кристалла». Кроме того, теоретически обоснован и рассчитан предельный угол изгиба, гарантирующий сохранение сигнала без потерь при любом радиусе кривизны.

Теоретическая значимость исследования состоит в качественном совершенствовании методологии моделирования, что обеспечивает существенное превосходство в точности прогнозирования физических процессов по сравнению с классическими подходами.

Практическая значимость подтверждается возможностью минимизировать погрешности рефлектометрии, оптимизировать архитектуру кабельных сборок и регламентировать критические радиусы изгиба при проведении монтажных работ. Прикладной характер разработок подтвержден их внедрением в проектную деятельность АО «Хабаровский завод промышленного и гражданского домостроения».

Структура и объем работы

Представленная научная работа состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, списка использованных источников из 134 наименований и трех приложений. Общий объем работы составляет 127 страниц, включая 51 рисунок, 7 таблиц. В приложение включены копии свидетельств государственной регистрации 2 программ на ЭВМ, визуальные формы интерфейса программного комплекса и акт внедрения результатов диссертационной работы.

Содержание диссертации и обоснованность результатов

Анализ содержания диссертационной работы свидетельствует о том, что исследование выполнено на высоком научном уровне. Представленный материал полностью соответствует требованиям, установленным для направления 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Во **введении** диссертации обоснована актуальность выбранной темы и подчеркнута её научно-практическая значимость работы. Определены цель и задачи исследования, описаны использованные методы исследования, сформулированы ключевые положения, выносимые на защиту, показана научная новизна, кратко изложено содержание всей работы.

В **первой главе** представлены теоретические основы предметной области. Проведен анализ литературы по теме исследования. Проанализированы параметры одномодовых оптических волокон и их изменения, возникающие как результат двулучепреломления, при котором свет внутри волокна распространяется по двум перпендикулярным направлениям с различными скоростями, что влияет на качество передачи сигнала.

Вторая глава посвящена изучению деформации изгиба одномодового оптического волокна. В ней представлена авторская математическая модель, которая превосходит традиционные методы по точности описания физических процессов. Изгиб рассматривается как фактор, вызывающий неоднородную

трехмерную трансформацию структуры световода, что напрямую отражается на его способности пропускать свет.

Ключевым отличием предложенного подхода является учет квадратичных компонентов деформации, что позволило детально описать динамику показателя преломления по всем осям координат, а не только в одной плоскости. В рамках исследования разработан вычислительный алгоритм, позволяющий определять: точные приращения показателя преломления; смещение оптических осей; параметры наведенной анизотропии в зависимости от радиуса кривизны волокна.

В завершении главы приведены основные выводы, подтверждающие, что разработанный инструментарий существенно повышает надежность прогнозов при проектировании и эксплуатации волоконно-оптических систем в условиях механических напряжений.

Третья глава посвящена анализу воздействия температурных колебаний на ключевые характеристики одномодового оптического волокна. В ходе исследования установлено, как возникают температурные деформации и как они влияют на показатель преломления, что, в свою очередь, определяет точность рефлектометрического контроля длины кабельных линий. Определены критические углы изгиба волокна, при которых сигнал сохраняется без потерь в рамках упругой деформации материала.

Итогом главы стало комплексное физико-математическое обоснование необходимости учета температурного фактора, который критически важен для корректной настройки измерительного оборудования. Внедрение предложенных расчетов позволяет существенно снизить погрешность рефлектометрии при мониторинге и эксплуатации волоконно-оптических систем в различных климатических условиях.

Четвертая глава посвящена детальному разбору разработанного программного комплекса. В ней раскрываются назначение и архитектура комплекса, а также последовательно описывается процесс его создания. Автор представляет базовую схему функционирования системы и приводит результаты верификации программы через краткое описание этапов тестирования. Особое внимание уделено разработке специализированного модуля, предназначенного для трехмерного моделирования процессов изгиба оптического волокна.

В **заключении** диссертации подведены итоги проведенного исследования и в краткой форме представлены ключевые научные результаты и выводы работы.

Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

1. Во второй главе проводятся детальные исследования поведения осей эллипсоида Френеля при различных радиусах изгиба волокна. Однако практическое значение полученных результатов вызывает сомнение, поскольку при малых радиусах изгиба одномодового волокна (например, в 1 мм, как приведено в тексте) излучение практически сразу затухает.

2. В выводах по 3 главе (стр. 81) и в пункте 6 научной новизны сказано, что «Определено значение максимального угла изгиба, для которого при любом радиусе изгиба потери будут отсутствовать». Однако не ясно, как этот угол зависит от типа волокна, длины волны излучения и других параметров. Требуется более детальное обоснование. Кроме того, указано, что определен этот угол ($\varphi_{\max}$), однако значение его не приведено.

3. В работе недостаточно подробно обсуждаются существующие модели деформации оптического волокна (например, модели на основе метода конечных элементов или коммерческих пакетов типа COMSOL). Целесообразно было бы провести сравнительный анализ точности и эффективности предложенной модели.

4. Некоторые мелкие замечания:

4.1. В подписи к рисунку 2 автореферата неясно, при каком радиусе изгиба получены графики изменения показателей преломления.

4.2. «Потеть» вместо потерь (в разделе Заключение автореферата).

4.3. Пункт 1.3. диссертации называется «Поляризация излучения и природа ее возникновения в оптических волокнах», а в тексте излагается истории исследования поляризации света и рассматривается общеизвестное определение поляризации линейной и эллиптической, что кажется излишним для научной работы.

4.4. Автор использует термин «длина волны среза», хотя в русскоязычной литературе принят термин «длина волны отсечки».

Общее заключение

Представленная диссертация Резак Елены Владимировны на тему «Моделирование влияния деформации изгиба и температурной деформации на параметры одномодового оптического волокна» является завершенным научно-квалификационным исследованием. Работа выполнена на актуальную тему, обладает выраженной научной новизной и практической ценностью.

Достоверность и обоснованность выводов автора подтверждаются успешной апробацией ключевых положений на ряде профильных конференций. Основное содержание работы в полной мере раскрыто в достаточном количестве публикаций в рецензируемых научных изданиях, что свидетельствует о признании результатов профессиональным сообществом.

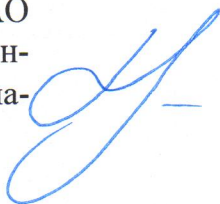
Представленное исследование по своей направленности и полученным результатам полностью соответствует пп. 3, 4, 6, 8 паспорта специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертационное исследование соответствует пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Резак Елена Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2

– «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05, главный научный сотрудник научно-исследовательского института радиофоники и оптоэлектроники ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания»

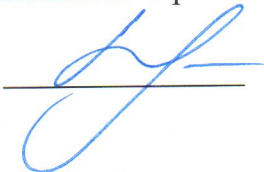
Почтовый адрес: 614002,
г. Пермь, ул. 25 октября, 106
Тел. +7(342) 240-09-00
E-mail: krishtop@list.ru



Криштоп Виктор Владимирович

« 14 » 01 2026 г.

Я, **Криштоп Виктор Владимирович**, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их обработку.



Криштоп Виктор Владимирович

Подпись Криштопа Виктора Владимировича
заверяю

Зам. начальника отдела по
работе с персоналом



(подпись)

/Е.А. Загуляева/