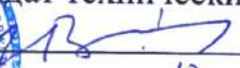


Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ (ФГБОУ ВО ДВГУПС)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»,
кандидат технических наук



 И. В. Игнатенко
«23» 12 2025 г.

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ДВГУПС) 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»

Рецензируемая диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тихоокеанский государственный университет». Общий объём составляет 127 страниц машинописного текста, и 20 страниц автореферата. Структура работы содержит введение, четыре главы, заключение, список использованной литературы в 134 наименования (из них 18 собственные публикации), три приложения.

Актуальность темы диссертационного исследования

Одномодовое оптическое волокно используется для организации высокоскоростной и высокоемкостной передачи данных на большие расстояния за счет минимизации спектральных и временных искажений сигнала. Благодаря малому диаметру сердцевины и соответствующей конструкции, оно обеспечивает низкий коэффициент затухания и высокую пропускную способность, что особенно важно для современных телекоммуникационных систем, дата-центров и высокоскоростных сетей. Кроме того, оптоволокно активно применяется в медицине (например, в эндоскопах и лазерной терапии), промышленности (в системах контроля и датчиках), аэрокосмической сфере (в системах связи и мониторинга космических аппаратов), военной сфере (в защищённых коммуникациях и системах обнаружения) и в научных исследованиях (в астрономии и геофизике). Область применения постоянно расширяется.

В связи с увеличением требований к долговечности и устойчивости оптоволоконных систем, а также учитывая значительную протяженность линий связи и высокую стоимость материалов и работ по их прокладке, оправдано проведение предварительного моделирования характеристик будущих линий с учетом внешних факторов окружающей среды.

К числу таких факторов относятся деформации, вызванные изгибами, и температурные изменения среды эксплуатации. Они могут существенно воздействовать на стабильность и качество передачи сигнала. Поэтому исследование воздействия деформации изгиба и температурных изменений на параметры одномодового оптического волокна обусловлено необходимостью обеспечения его стабильности, надежности и высокой точности передачи данных. Проведение комплексных исследований в этой области способствует развитию более точных моделей предсказания поведения волокон под воздействием внешних факторов, а также позволяет разрабатывать методы минимизации негативных эффектов. В результате

такие исследования способствуют повышению эффективности эксплуатации оптических волокон, обеспечивают их более долгий срок службы.

Общая характеристика работы

В диссертационной работе Е. В. Резак изучается воздействие внешних факторов, таких как деформация изгиба и температурная деформация, на эксплуатационные параметры одномодового оптического волокна. Основное внимание уделено разработке математической модели, методов и программных средств оценки влияния, указанных факторов на параметры волокна и, как следствие, качество передачи сигнала. Кроме того, исследование рассматривает возможности практического применения полученных результатов для повышения надежности и эффективности телекоммуникационных линий связи.

Во **введении** диссертации аргументирована актуальность выбранной темы, подчеркнута её научно-практическая значимость. Проводится определение целей и задач исследования. Описываются применяемые методы и подходы, используемые в рамках работы. Сформулированы основные положения, которые выносятся на защиту, и кратко изложено содержание всей работы, включая структуру и основные разделы.

В **первой главе** изложены основные теоретические сведения по предметной области исследования и проведен обзор литературных источников. Рассматриваются параметры одномодовых оптических волокон. Проведена систематизация факторов, влияющих на передачу сигнала в оптическом волокне, с выделением статических и динамических причин возникновения оптической анизотропии. К статическим факторам относятся физические воздействия, такие как растяжение, сжатие, изгиб и кручение волокна, а к динамическим – влияние внешней среды (электромагнитных полей, температуры, колебаний, ветровые нагрузки). В заключении показана актуальность исследования изменения характеристик оптического волокна, под воздействием внешних факторов.

Во второй главе разработана модель изменения показателя преломления внутри изогнутого оптического волокна с учетом механических деформаций и оптических свойств материала. Показано, что при изгибе волокна возникают внутренние напряжения, которые распределяются по поперечному сечению. Эти напряжения вызывают деформации в материале, что влияет на показатели преломления сердцевины по различным осям.

Подчеркивается, что вследствие изгиба возникает анизотропия волокна: показатели преломления вдоль координатных осей начинают различаться. Особенно сильно эти эффекты проявляются при уменьшении радиуса изгиба, поскольку деформации увеличиваются и вызывают более заметные изменения в оптических свойствах оптического волокна.

В целом, полученные результаты показывают, что при изгибе оптического волокна внутри него происходит сложное перераспределение показателей преломления, связанные как с механическими деформациями, так и с оптическими свойствами материала. Такой комплексный подход позволяет более точно моделировать поведение волокна в реальных условиях, что важно для высокоточных оптических систем и передачи данных.

В третьей главе исследуется влияние деформационных изменений показателя преломления в одномодовом оптическом волокне. Основная проблема заключается в определении длины и нахождении мест повреждений кабеля при эксплуатации, когда прямое измерение невозможно. В подобных случаях используют косвенные методы с учетом показателя преломления волокна, который чувствителен к температуре и деформации изгиба. Это приводит к возникновению дополнительной погрешности измерения длины рефлектометрическими методами. Также в главе исследуется влияние изгиба на геометрию волны, определяется предельный угол изгиба, при котором потерь энергии нет, что важно для проектирования и эксплуатации волокон.

В четвертой главе описан программный комплекс для моделирования влияния деформации оптического волокна на показатель преломления. Комплекс разработан на C# и XAML и включает модули для ввода данных, расчетов, визуализации, анализа переходных точек и трехмерной визуализации изгиба. Он позволяет рассчитывать и отображать параметры преломления внутри волокна и при переходе между сердечником и оболочкой, а также анализировать ошибки и проводить регрессионный анализ точек пересечения. Тестирование программного комплекса осуществлялось в два этапа: на первом – выявление ошибок работы комплекса согласно спецификациям, а на втором – тестирование результатов численного моделирования путем сравнительного анализа с данными, полученными при использовании системы инженерной компьютерной математики.

В приложениях представлены охранные документы на результаты интеллектуальной деятельности и основной интерфейс программного комплекса.

Автор имеет 16 работ, включая 5 статей в изданиях рекомендованных ВАК по специальности 1.2.2, и 2 свидетельства о государственной регистрации программы на ЭВМ.

Научная новизна работы заключается в следующем: разработана новая математическая модель, которая описывает процессы распространения света в деформированном (изогнутом) одномодовом оптическом волокне, учитывающая все составляющие относительных деформаций. Эта модель превосходит ранее существующие упрощённые подходы, позволяя получить более полную картину изменений, происходящих в волокне при изгибе. Разработаны вычислительные алгоритмы и программный комплекс для оценки влияния таких факторов, как изгиб и температурная деформация, на параметры оптического волокна. В результате моделирования обнаружено, что при изгибе волокно ведет себя как оптически двухосная анизотропная среда, при этом выявлены точки, в которых изогнутое волокно проявляет

свойства оптически одноосного анизотропного «кристалла». Уточнена зависимость длины оптического волокна от температуры. Определен максимальный угол изгиба, при котором потери энергии отсутствуют независимо от радиуса изгиба волокна.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что реализован программный комплекс для оценки влияния изгиба и температурной деформации, на показатель преломления оптического волокна. Результаты работы позволяют повысить точность рефлектометрических измерений и оптимизировать конструкции кабельных сборок, что способствует снижению потерь сигнала и увеличению их надежности, а также определять допустимые радиусы изгиба при монтаже.

Диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне, обладает грамотным стилем изложения и соответствует требованиям ГОСТ Р. 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления» и Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842).

Структура и содержание автореферата полностью отвечают основным положениям диссертационной работы.

Представленная диссертация может быть квалифицирована как самостоятельное, завершённое научно-квалификационное исследование, соответствующее требованиям паспорта специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Использование полученных моделей и методик для оценки и компенсации влияния механических деформаций и температурных изменений на параметры одномодовых оптических волокон в системах связи.

Это позволит повысить устойчивость и качество передачи данных, особенно в экстремальных климатических условиях или при механическом воздействии. Использование моделей для разработки систем мониторинга состояния оптических линий связи, позволяющих выявлять места повреждений или деформаций на основе изменений в характеристиках волокна, значительно повысит эффективность профилактических работ и ремонта.

Результаты проведенного научного исследования будут полезны в педагогической деятельности при изучении студентами бакалавриата или магистратуры дисциплин в области математического моделирования и/или разработки программных продуктов.

Замечания и вопросы по содержанию диссертационной работы

1. Количество публикаций указывается в виде количества публикаций, а не авторских печатных листов.

2. В главе 4 приводится процесс работы программного комплекса, однако его визуальная часть (интерфейс пользователя) представлен в приложении. Для удобства восприятия целесообразнее было бы представить его непосредственно в тексте диссертации.

3. Программный код, реализующий алгоритмы моделирования и расчётов, представлен фрагментарно. В основном приведены части кода, описывающие графический интерфейс пользователя и вспомогательные операции. Возможно, имело бы смысл представить код в приложении.

Заключение

Диссертация Резак Елены Владимировны «Моделирование влияния деформации изгиба и температурной деформации на параметры одномодового оптического волокна» является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему. Работа обладает новизной и практической значимостью.

Представленная работа соответствует требованиям, установленным пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024), предъявленным к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, 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».

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, доцентом Виноградовой Полиной Витальевной.

Отзыв обсужден на кафедре «Высшая математика» 22.12.2025, протокол № 12.

Заведующий кафедрой
«Высшая математика»,
доцент, д. ф.-м. н.



Виноградова Полина Витальевна

Подпись заверяю: *Заместитель начальника Информационно-методического центра*
Сергей Валерьевич

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ДВГУПС)

Почтовый адрес: Россия, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, дом 47

Телефон: + 7 (4212) 40-73-21

E-mail: root@festu.khv.ru

Официальный сайт: <https://dvgups.ru>