

## АННОТАЦИЯ

диссертационной работы **Юсуповой Гульбахар Мадреймовны** на тему:  
«Разработка оптоволоконных сеток Брэгга для применения в телекоммуникационных системах», представленной на соискание степени доктора философии PhD по специальности 6D071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

**Актуальность темы.** В современных условиях необходимо обеспечить надежное и качественное функционирование комплекса взаимосвязанных информационных, компьютерных и телекоммуникационных технологий. Современной основной средой передачи данных на средних и длинных дистанциях телекоммуникаций стало оптическое волокно. Благодаря своим уникальным свойствам передачи, устойчивости к помехам и защищенности, и относительно доступной цене, в обмен на прочность и устойчивость к старению оно было применено во многих областях жизни. На пути быстрого и без потерь обмена данными по оптическому волокну сталкиваются с рядом трудностей. К ним относятся: затухание, поглощение, линейное и нелинейное рассеяние и базовый предел увеличения полосы пропускания волокна, которые относятся к дисперсии.

Волоконные решетки Брэгга в настоящее время являются одним из базовых элементов в различных устройствах волоконной оптики. В частности, они широко применяются в системах волоконно-оптической связи, а также в волоконных лазерах, сенсорных системах. Их востребованность обусловлена уникальными оптическими (узкий спектр отражения) и эксплуатационными (малые оптические потери, габариты и вес) характеристиками.

Волоконные Брэгговские решетки обладают уникальными свойствами и простыми фильтрующими элементами трактов передачи волоконной связи, поэтому нашли множество применений и становятся все более распространенными в технологии передачи. Исследования, которые были сделаны в последние годы, позволили эффективно применять волоконную решетку Брэгга в телекоммуникационной отрасли для компенсации дисперсии.

С учетом изложенного, тема данной работы, посвященной улучшению и увеличению возможности передачи и коммутации с помощью управления оптического сигнала с учетом принципа действия и свойств среды передачи на основе оптоволоконных сеток Брэгга является актуальной.

**Целью диссертационной работы является** повышение эксплуатационных характеристик оптоволоконных телекоммуникационных систем на основе исследования и оптимизации конструктивных свойств и режимов передачи оптоволоконных сеток Брэгга.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие **задачи**:

1. Представить и проанализировать причины возникновения помех и искажений в волоконно-оптических сетях и методы их компенсации, связанные с конструктивными особенностями и режимами оптоволоконных сеток Брэгга, используемых в телекоммуникационных системах .

2. Обосновать математическую модель оптоволоконных сеток Брэгга и предложить метод моделирования для визуализации процесса компенсации дисперсии в волоконно-оптических решетках Брэгга;

3. Определить оптимальные режимы передачи свойства сеток Брэгга на основе имитационного моделирования с использованием построенной модели;

4. Усовершенствовать конструктивный метод повышения скорости коммутации волоконных брэгговских решеток на основе теплового управления.

**Объектом исследования** являются оптоволоконные решетки Брэгга.

**Предметом исследования** являются эксплуатационные характеристики волоконно-оптических телекоммуникационных сетей, связанные с конструктивными свойствами сеток Брэгга и режимами передачи.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- обоснована и предложена модель брэгговских решеток на основе соответствующего выбора параметров сеток, обеспечивающих визуализацию компенсации дисперсии;

- доказана путем визуализации предложенной модели оптимальность параметров аподизации синусным профилем волоконных брэгговских решеток при компенсации дисперсии;

- научно обосновано применение методики сочетания режимов для получения количественной информации о дифракционной эффективности и ее влиянии на спектральные характеристики брэгговских решеток, на основании которой получены их оптимальные режимы для максимальных значений отражательной способности и дисперсии.

- доказана возможность усовершенствования метода повышения скорости коммутации волоконных брэгговских решеток на основе теплового управления и получены требуемые значения для наносекундного диапазона.

**Методы исследования.** При исследованиях применялись классические и специальные методы теории сигналов. Проверка и моделирование процессов передачи световых сигналов в ВОЛС. Проведение экспериментов и математическая обработка экспериментальных данных, теоретических результатов, полученных в ходе работы, выполнялась в среде Matlab

**Апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 16 публикаций, в том числе 5 статьи – в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК; 4 статья – в журнале,

входящих в базу данных Scopus, 7 работ – в материалах международных конференций, 4 из которых входят в базу данных Scopus.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения, библиографического списка использованной литературы.

**Во введении** раскрыты актуальность, конкретизированы проблемы, связанные с исследуемой темой. Приведены идея работы, цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность работы, методы исследования.

**В первой главе** рассмотрены конструктивные особенности и принципы передачи оптических волокон, являющихся основой ВОЛС и использующихся в современных телекоммуникационных системах. Дается формула расчета числовой апертуры NA волокна, которая является основным показателем, описывающим передачу данных оптическим волокном. Показано, что переменная скорость мод распространения является основным препятствием передачи информации данного типа среды. Попытки устранения различных режимов времени распространения, могут исказить передаваемые световые импульсы, с помощью которых закодирована информация. В результате, это может привести к наложению импульсов, что приведет к изменению в логике передаваемого сигнала, т.е. к эффекту в оптическом волокне называется модальной дисперсией. На основании проведенного анализа была сформулирована цель диссертационного исследования и задачи

**Вторая глава** посвящена анализу выбранных методов компенсации дисперсии. Исследованы более подробно искажения и затруднения передачи сигналов в волоконно-оптических линиях и основной способ устранения влияния хроматической дисперсии является использование специальной конструкции с модифицированными характеристиками дисперсии волокна и частоты фильтра, называемых Брэгговскими решетками. Рассмотрен принцип работы и свойства волоконно-оптических решеток Брэгга с аналитическим описанием отражательной способности сетки в виде функцией от длины и сетки длин волн. В разделе дано, также обоснование и описание метода матрицы перехода теории связанных мод с введением двух счетчиков полос сетки, для распространения волны в ядре оптического волокна для моделирования волоконно-оптические решетки Брэгга. С помощью метода матрицы перехода (ТММ) показана зависимость характеристик спектральной отражательной способности брэгговских решеток от длины решетки и от локальных изменений показателя преломления сердцевины волокна.

**В третьей главе** применена методика сочетания режимов для получения количественной информации о дифракционной эффективности и ее влияние на спектральные характеристики Брэгговских решеток. Результаты математического анализа распространения света в структуре волокна брэгговских решеток четко указывают на возможность расширения

контрольных значений импульсов времени. Результаты показывают, что можно точно контролировать дисперсионные оболочки в волоконно-оптической линии путем соответствующего выбора параметров аподизации волоконных Брэгговских решеток. Расчеты и построенные в MATLAB модели сетей были использованы для анализа методов компенсации хроматической дисперсии с помощью Брэгговских решеток. Было показано, что при определенных условиях создания Брэгговских решеток можно контролировать время расширения импульса после прохождения через оптическое волокно, на котором расположена сеть. Также показано, что наилучшие настройки для решетки и оптимальные настройки параметра аподизации профилей улучшают свойства компенсации брэгговской дифракционной решетки аподизированные синусным профилем, чем гауссовым профилем.

**Четвертая глава** посвящена специальной конструкции волокна с возможностью для электрического управления светом, распространяющимся в световоде. Брэгговские решетки, записанные в таких волокнах являются отличным инструментом, чтобы следить за развитием преломления в кристалле, испытываемого светом при поляризации параллельно и перпендикулярно к направлению отверстия кристалла. В этой главе исследованы две длиной 4-см Хемминг-аподизированные ВБР, записанные в волокна с дополнительными отверстиями с внутренними электродами, описываются наносекундные высокие импульсы тока, вызывающие матрицы квазимгновенного расширения матрицы металлических электродов. Показано увеличение двулучепреломления волокна и полного включения-выключения, и выключения-включения коммутаций на испытываемых решетках с достижением времени отклика -29 нс. Проведено численное моделирование, которое подтверждает экспериментальные результаты. Также получена температурная зависимость характеристик решетки кристалла без электрических импульсов возбуждения кристалла.

**В заключении** отражены основные результаты и выводы диссертационной работы.

**По теме диссертации опубликовано 18 публикаций:**

1. Юсупова Г.М. «Соединение оптических волокон в тракт передачи кабеля» журнал КУПС «Промышленный транспорт», Алматы, 2014г. №2, стр. 70.
2. Юсупова Г.М. «Качества и дальность систем телекоммуникации компьютерных сетей по ВОЛС» журнал КУПС «Промышленный транспорт», Алматы, 2014 г. №1, стр. 71.
3. Юсупова Г.М. «Коммутация жүйелері» оқу құралы, Алматы, 2014 ж.
4. Юсупова Г.М. «Абоненттік қатынаудың мультисервистік желілері» оқу құралы, Алматы 2014 ж.
5. Юсупова Г.М., Кемельбеков Б.Ж., Туребекова А.Ж. «Обработка результатов рефлектометрических измерений ВОЛС на персональном компьютере» журнал КУПС «Промышленный транспорт Казахстана» Алматы, 2015 г. №2
6. Юсупова Г.М., Кемельбеков Б.Ж., Туребекова А.Ж «Экспериментальные исследования и математическое моделирование эффектов рассеивания и отражения в оптическом кабеле» журнал КУПС «Промышленный транспорт Казахстана» Алматы, 2015 г. №2
7. Юсупова Г.М., Кемельбеков Б.Ж., Т, Тілеу А. «Экспериментальные исследования влияния деформаций на пропускание волокна и волоконного разветвителя» журнал КУПС «Промышленный транспорт Казахстана» Алматы, 2016 г. №1№1, стр 107-111.
8. Юсупова Г.М., Балгабекова Л.О., Садилова Г.С. «Анализ вероятностных характеристик сетевого трафика» статья Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию доктора технических наук, профессора, академика Инженерной академии Республики Казахстан, Международной академии транспорта, Международной академии информатизации Муратова А.М. «Индустриально-инновационное развитие транспортно-коммуникационного комплекса» Алматы, 2014 г.
9. Юсупова Г.М., Касымов А.О., Кусамбаева Н.Ш. «Анализ задач по оценке ЭМС при проектировании беспроводных локальных сетей» статья Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию доктора технических наук, профессора, академика Инженерной академии Республики Казахстан, Международной академии транспорта, Международной академии информатизации Муратова А.М. «Индустриально-инновационное развитие транспортно-коммуникационного комплекса» Алматы, 2014 г.
10. Юсупова Г.М., Утепбергенов И.Т., Касимов А.О., Кусамбаева Н.Ш. «Влияние на надежность растягивающих фантеров при эксплуатации ВОК.». Научно-технической конференции «Сатпаевские чтения» Алматы КазНТУ им. К.Сатпаева, 2015 г.

11. Piotr Kisala, Waldemar Wojcik., Yussupova G. « Tworzenie chirpu stefowego w FBR jako sposob na uzyskanie z funkcjnosci czujnika». Международный научно-технический конференции посвященную 75 – летию д.т.н профессора, академика Амангельды Джумагалиевича Омарова. Алматы, 2016, 133-136 стр.

12. Юсупова Г.М., Дараев А.М., Наутиева Ж.И. «Оптимизация переходных процессов электропривода солнечной фотоэлектрической станции». Международный научно-технический конференции посвященную 75 – летию д.т.н профессора, академика Амангельды Джумагалиевича Омарова. Алматы, 2016, стр.125-127.

13. Waldemar Wojcik, Piotr Kisala, Nazym Kussambayeva, Gulzhan Kashaganova, Damian Harasim, Yussupova G. Analysis of the Possibilities for Using a Uniform Bragg Grating in a Tunable Dispersion Compensator. (Scopus) Intl journal of electronics and telecommunications, 2015, Vol. 61, No. 4, pp. 381-387. Manuscript received October 15, 2015 revised December, 2015. Doi: 10.2478/eletel-2015-50.

14. Ronald Rovira, Marcia M. Bayas, Sergii V.Pavlov, Tatiana I. Kozlovskaya, Piotr Kisala, Ryszard S. Romaniuk. Yussupova G. Application of a modified evolutionary algorithm for the optimization of data acquisition to improve the accuracy of a video-polarimetric system. (Scopus) Proceeding of spie – the international society for optical engineering, 2015 Vol. 9816, optical fibers and their applications 2015, 981619 (22-25 September 2015); doi: 10.1117/12.2229087.

15. Andres J. Utreras, Hennadii L. Licenko, Piotr Kisala, Ryszard S. Romaniuk. Yussupova G. Optical switching technologies: problems and proposed solution Proceeding of spie – the international society for optical engineering, 2015Vol. 9816., optical fibers and their applications 2015, 98161D.

16. Oleg V. Bisikalo, Slawomir Cieszczyk., Yussupova G Solving problems on base of concepts formalization of language image and figurative meaning of the natural-language constructs. Proceeding of spie – the international society for optical engineering, 2015Vol. 9816, optical fibers and their applications 2015, 98161U.

17. Domian Harasim., Yussupova G. Improvement of FBG peak wavelength demodulation using digital signal processing algorithms. From Conference Volume 9662 Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2015Wilga, Poland | May 25, 2015

18. Toigozhinova A.,Yussupova G. Mathematical modeling of processes in the zone of corona discharge ionization. Lubelskie Dni Nauki i Biznesu. Pod patronatem honorowym. Polskiego stowarzyszenia tomografii procesowej I Komitetu elektrotechniki polskiej akademii nauk. Warsztaty doktoranckie. WD2016. Science conference. Lublin. 11 – 13 Czerwca 2016. p.219-220.

