

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Жетписбаева Айнур Турсынкановна

Исследование вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в одномодовом оптическом волокне при совместных волнах 1310 нм и 1550 нм

Актуальность диссертационного исследования. В настоящее время с расширением областей применения волоконно-оптических линий связи в совокупности с магистральными линиями повышаются возможности передачи данных по оптическому волокну до абонентских устройств пользователей. Вместе с этим растут и объемы передаваемого трафика. Но вследствие влияния различных физических явлений на магистральных волоконно-оптических линиях возможности передачи информации ограничены и, соответственно, это приводит к ограничению объема передаваемого трафика. Большинство из этих ограничений непосредственно зависят от физических и химических свойств волокна. В начале XX века стали известны явления вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, рассеяния Релэ, рассеяния Ми, вынужденного комбинированного рассеяния (Рамановское рассеяние), эффект Брэгга, являющихся причиной вышеперечисленных ограничений при передаче информации, вместе с тем, благодаря тому, что человечество смогло использовать эти явления для собственных нужд, появилась возможность проектирования устройств диагностики внешних влияний (уровень внешнего давления, влияние температуры и т.д.) на оптическое волокно.

В настоящее время существуют сенсоры для точного определения мест возникновения дефектов в волокне с использованием эффекта ВРМБ. Современные рефлектометры при помощи результатов взаимодействия зондирующей информации сигналов определяют на основании регистрации усиления обратного рассеяния ВРМБ место повреждения.

В настоящее время с применением новейшей технологии DWDM решена проблема повышения уплотнения информации, передаваемой по оптическому волокну. Тем не менее, вследствие влияния эффекта ВРМБ невозможно повысить до необходимого уровня уплотнение информации при передаче по одномодовому волокну. Определенные в шестидесятых годах XX века проблемы влияния эффекта ВРМБ в настоящее время, вследствие резкого увеличения уплотнения каналов, активизировались новой волной. Это связано с тем, что в настоящее время возможна передача информации по усовершенствованным оптическим волокнам с помощью многомодовых лазерных источников лучей.

До настоящего времени не решены проблемы повышения интенсивности информации приводимых в источниках технической

литературы порога ВРМБ для значений мощности при 1310 нм выше 15 дБм, 1550 нм выше 27 дБм.

В настоящее время без решения проблемы порога ВРМБ уплотнение информации выполняется в экстенсивной форме при помощи увеличения количества волокон.

Исследование эффекта ВРМБ, представление нового способа определения порога ВРМБ, определение зависимости эффекта ВРМБ от частоты модуляции и поиск решения поставленных задач являются основной целью настоящей работы.

При исследовании оптического волокна, а, именно, при исследовании магистральных линий передачи проявляются доли различных нелинейных эффектов. Среди них можно выделить эффект ВРМБ, исследованию которого посвящено много работ. В качестве особенности научных работ, посвященных исследованию эффекта ВРМБ, можно выделить вышеперечисленные основы исследования энергии волн и спектральных характеристик. На магистральных оптических линиях передачи на территории Республики Казахстан среди работ по наблюдению, регистрации и устранению нелинейных эффектов для обнаружения эффекта ВРМБ широко применяются основанный на эффективном использовании эффекта ВРМБ «рефлектометры».

По сравнению с нелинейными эффектами оптических волн в зданиях в условиях города на магистральных линиях связи присутствуют различные нелинейные эффекты, среди них необходимо отметить эффект ВРМБ, для длин волн равным 1310 нм и 1550 нм максимальные значения энергии источника излучения предварительно ограничиваются значениями – 15 дБ и 27 дБ, соответственно, тем самым выполняется защита от эффекта ВРМБ.

В результате анализа порядка ста научных трудов по исследованию эффекта ВРМБ определены основные направления исследований:

- работы по выделению эффекта ВРМБ среди нелинейных оптических явлений в волокнах;
- работы об изготовлении сенсоров Бриллюэна, фильтров и особенностей их применения с использованием эффекта ВРМБ;
- работы, посвященные разработке новых методов определения порога ВРМБ;
- исследования эффекта ВРМБ, являющегося результатом воздействия особенностей источников лучей – лазеров, световых диодов;
- исследования о построении математических моделей для исследования эффекта ВРМБ.

В связи с наличием исследований, имеющих прямое отношение к данной научной работе, больше внимания уделено основным направлениям.

В ходе анализа технической литературы необходимо отметить важный момент – многие из авторов рассмотренных работ ссылаются на научные труды специалиста США в области исследований волоконно – оптических линий связи Г. Агравала. Европейские и российские ученые, к примеру в монографиях Уильяма Дэйзи, С.А. Булгаковой, посвященных исследованию

нелинейных явлений в оптическом волокне, приводятся прямые ссылки на труды Г. Агравала. Соответственно, при поиске работ по математическим моделям для обработки значений, полученных в результате проведения лабораторных исследований, эффективное объяснение основных лабораторных измерений с помощью математической модели Г. Агравала, подтвердилось в результате компьютерных вычислений.

Во всех научных трудах, направленных на исследование свойств оптических волокон, основная структура научных лабораторий имеет сходство. Также имеют сходство работы по регистрации спектральных, энергетических и других характеристик принятых оптическим волокном, прошедших по волокну и отраженных лучей.

В данной работе проблема возникновения явления от эффекта ВРМБ исследована с использованием двух оптических источников лучей в одномодовом оптическом волокне при совместных волнах 1310 нм и 1550 нм. В связи с тем, что во всех магистральных волоконно-оптических линиях интенсивность и энергия входных сигналов ограничена из-за влияния ВРМБ, в настоящее время ведется поиск методов снижения влияния этого явления.

Основной целью данной работы является сбор дополнительных данных об изменениях этого явления под действием различных внешних факторов и представление основных выводов на основании проведенного исследования.

Цель работы. Исследование вынужденного рассеяния Манделъштамма-Бриллюэна в одномодовом оптическом волокне при совместных волнах 1310 нм и 1550 нм.

Основные задачи:

1. Анализ основных научных работ в соответствии с темой данной научной работы;
2. Исследование особенностей взаимодействия волн различных частот в одномодовых оптических волокнах;
3. Измерение энергии импульсов при распространении в виде отдельных лучей с динами волн 1310 нм и 1550 нм, совместной передаче и в случае отражения, организация практической лаборатории по исследованию эффекта ВРМБ на основании определения зависимости измеренных значений энергии от частоты модуляции.
4. Представление нового способа определения порога ВРМБ на основании сравнительного анализа результатов лабораторных работ и данных математического моделирования.

Научная новизна работы

1. При распространении в одном направлении вынужденного рассеяния Манделъштамма-Бриллюэна в одномодовом оптическом волокне при длинах волн 1310 нм и 1550 нм наблюдается сужение отраженных стокс лучей.

2. Определены закономерности зависимости энергии отраженных и переданных лучей при распространении в виде отдельных двух волн и совместно от изменений частоты модуляции сигналов.

3. По полученным результатам в случае совместной передачи и взаимодействии двух волн наблюдается снижение порога ВРМБ отраженных и переданных лучей, для этого эффекта с помощью математического моделирования проведен сравнительный анализ и определено повышение доли порога ВРМБ.

4. Сравнение значений, полученных в лабораторных условиях с результатами математического моделирования показали высочайшую точность. При проведении лабораторных измерений в случае рассмотрения отдельно каждой волны значения нелинейного процесса в начальных точках согласно предложенной Г. Агравалом математической модели, дали верные результаты.

Методы исследования

Для решения поставленных задач в процессе проведения экспериментальных исследований полученные результаты проверены с помощью математического моделирования.

Результаты, выносимые на защиту:

1. Значения порога ВРМБ от источников лучей с длинами волн 1310 нм и 1550 нм ниже значения порога ВРМБ при совместной передаче этих двух волн по одному каналу.

2. При совместной передаче двух волн по одному каналу энергии переданных и отраженных лучей с повышением частоты модуляции показывают эффективные граничные значения.

3. На основании практических результатов определено, что при определении нелинейных эффектов в каналах с большой длиной волны доля эффекта ВРМБ высока.

4. Повышение порога ВРМБ с помощью совместной передачи не достигает значений порога ВРМБ при отдельной передаче.

В первой главе выполнен анализ научных трудов, посвященных исследованию эффекта ВРМБ, из них научной литературы по изучению эффекта ВРМБ, являющегося результатом взаимодействия двух лучей в одномодовом оптическом волокне. Рассмотрены основные процессы в устройствах, выполненных с использованием влияния ВРМБ. На основе рассмотрения основных характеристик эффекта ВРМБ приведены сведения о взаимосвязи эффекта ВРМБ и эффектами фазовой независимой модуляции, фазовой кросс-модуляции, вынужденного комбинационного рассеяния. Мұндай еңбектерге шолу жасаудың мақсаты қарастырылатын жұмыстың қайталанбағандығын анықтау және жұмыстың жаңашылдығын бекіту болып табылады.

Во второй части рассмотрены методы определения порога ВРМБ. Рассмотрены проблемы определения доли эффекта ВРМБ на магистральных линиях. Выполнен анализ научных работ, направленных на исследование нелинейных явлений в оптическом волокне и определение зависимости порога ВРМБ от внешнего влияния – температуры, изменений давления.

В научных трудах показано, что возрастание коэффициента ВРМБ и коэффициент затухания сигнала прямо пропорциональны возрастанию

внешней деформации и температуры. Вместе с тем, исследована зависимость изменения значения ширины спектра излучения от частоты фазовой модуляции определен при определении порога ВРМБ и методах его повышения.

Используя уравнение мощности порога $P_{\text{ВРМБ}}$ получена зависимость мощности порога ВРМБ от спектральной ширины источника волнового излучения. Для расчета значений мощности порога ВРМБ и построения графиков использована программная среда MATLAB.

Необходимо отметить, что из зависимости для волн с длинами 1550 нм и 1310 нм с увеличением значения спектральной ширины источника излучения происходит увеличение значения мощности порога ВРМБ.

В третьей части приведены сведения для организации научной лаборатории по исследованию эффекта ВРМБ, о характеристиках лабораторных устройств. Приведена интерпретация полученных результатов.

В четвертой части с целью аналитического объяснения полученных лабораторных результатов при помощи прямого анализа результатов приводится интерпретация. Главный результат, полученный в результате лабораторных исследований – поиск видов математических моделей и рассмотрение разработки компьютерной модели на платформе MATLAB при совместной передаче по оптическому волокну волн с длинами 1310 нм и 1550 нм с целью объяснения факта снижения эффекта ВРМБ.

Апробация работы

Результаты диссертационного исследования опубликованы в нижеперечисленных трудах конференций:

II Международная научно-практическая конференция «Информационные и телекоммуникационные технологии: образование, наука, практика» (Алматы, 2015);

Международная научно-практическая конференция «Современные информационно-телекоммуникационные технологии» (Киев, 2015);

Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби элемеі» (Алматы, 2015, 2016);

Международная научно-практическая конференция «Инновационные механизмы решения проблем научного развития» (Уфа, РФ, 2016);

Международная научно-практическая конференция «Новая наука: современное состояние и пути развития» (Оренбург, РФ, 2016);

Международная научно-практическая конференция «Современные условия взаимодействия науки и техники» (Казань, РФ, 2017).

Публикации

По результатам работы по теме диссертационного исследования опубликовано 13 статей, из них: 4 - в изданиях МОН РК, 1- журнал, входящий в базу Thomson Reuters, 1 – журнал входящая в базу Scopus, 6 – международные конференции, из них 4 международная конференция, 1 тезис,

Научная и практическая ценность

Научная ценность диссертационной работы заключается в представлении путей повышения пропускной способности с помощью совместной передачи по оптическому волокну двойных волн с одновременным соответствием окон прозрачности.

Практическая значимость результатов исследования основана на повышении надежности волоконно-оптических линий связи в процессе эксплуатации вследствие снижения нелинейных эффектов и подтверждается актами о внедрении результатов исследования.

Надежность и обоснованность результатов

Надежность и обоснованность результатов работы основана на полном соответствии полученных экспериментальных исследований с используемыми для волоконной оптики современными теоретическими методами.