

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

аспиранта МТУСИ Григорьяна А.К. на тему :

"Исследование и разработка современной методики определения влияния хроматической и поляризационной модовой дисперсий на передачу сигналов и методов их компенсации при высоких скоростях передачи"

На отзыв представлены: диссертация объемом 202 страниц основного текста, включающая введение, четыре главы и заключение, список литературы из 122 наименований и 2-х приложений, Автореферат, в котором дана общая характеристика работы, кратко изложено содержание и приведены основные результаты, список опубликованных работ соискателя по теме диссертации из 22 наименований

Широкое внедрение на транспортной (магистральной и внутризонавой) сети Российской Федерации волоконно-оптических линий связи требует оптимальных решений по выбору оптических волокон (ОВ), например, типа G-655 (А, В, С) по рекомендации сектора по стандартизации Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) и новых современных конструкций оптических кабелей (ОК). Однако, в уже созданной транспортной сети использованы разные ОВ, в том числе и ОВ типа G-652 (А, В, С, D). Эти ОВ в окне прозрачности, наиболее широко используемом в настоящее время 1550 нм, имеет достаточно большое значение хроматической дисперсии, примерно, $16 \div 18$ пс/нм·км и поляризационной модовой дисперсий (ПМД), которая составляет $0,2 \div 0,5$ пс/ $\sqrt{\text{км}}$, при высоких скоростях передачи выше 10 Гбит/с.

Дисперсия начинает оказывать неприятные воздействия на характеристики передачи и выбор длины усилительного и регенерационного участка при скоростях 10 Гбит/с и выше. ПМД является средней величиной дифференциальной групповой задержки (ДГЗ), т. е. разницы во времени распространения, возникающей между двумя состояниями: быстрой и медленной составляющими моды распространения. Эти состояния характеризуют максимальным и минимальным временем распространения по ОВ при любом исходном состоянии поляризации. ДГЗ зависит от длины волны.

В задачу настоящей работы входило рассмотрение изотропной составляющей ПМД первого порядка и её влияние на передачу сигналов по линии с кварцевыми ОВ.

Рекомендацией G-691 МСЭ-Т определено влияние ПМД на ухудшение передачи сигналов и ограничение на максимальную задержку. Однако, допустимое значение ПМД по задержке не должно превышать 0,1 Тб. Введенное понятие ПМД_q дает возможность оценить решения на линии и позволяет избежать завышенных значений ПМД, но не позволяет оценить совместные действия ПМД и хроматической дисперсии.

Актуальность темы и состояние вопроса

Возрастание требований к широкополосности пропускной способности сети связи на всех участках транспортной сети и сети доступа приводит к необходимости увеличения скорости передачи с 10 Гбит/с до 100 Гбит/с и выше, и внедрения спектрального уплотнения ВОСП-СР. Если при малых скоростях передачи на длину участка регенерации определяющим фактором был параметр затухания (до 6 Гбит/с), то с 10 Гбит/с и выше длину участка регенерации определяет хроматическая дисперсия, а с 40 Гбит/с ХД и ПМД. При внедрении спектрального уплотнения требуется увеличить суммарную мощность, что приводит к нелинейным эффектам.

Вместе с тем, сочетание методов модуляции, нелинейных эффектов за счет усиления сигналов и дисперсионных параметров ОВ позволяет управлять режимом компенсации хроматической дисперсии и учитывать ПМД.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- получена современная методика для определения длины усилительного и регенерационного участка при влиянии хроматической дисперсии и ПМД для ОВ по рекомендации G-652 и G-655 МСЭ-Т для скоростей передачи 40 Гбит/с и выше с учетом форматов модуляции, упреждающей коррекции ошибки и отношения сигнал/шум в оптическом канале;
- получены новые решения для определения отношения сигнал/шум и коэффициента битовых ошибок для указанных выше задач;
- разработана уточненная методика расчета длины регенерационного участка с учетом избыточности усиления с применением современных кодов для управления дисперсией на ВОСП-СР;
- получены 3 патента на конструкцию ВОК, позволяющие оптимально и в короткий срок устранить повреждения на волоконно-оптической линии связи.

Основные результаты исследований, рекомендации по методикам расчета хроматической дисперсии и длины РГУ и методики определения

отношения сигнал/шум и вероятности ошибки внедрены на предприятиях «Ростелеком», Гипросвязь, в учебный процесс МТУСИ.

Полученные патенты на конструкции ОК могут быть использованы заводами, производящими ОК.

Методики расчета хроматической дисперсии и ПМД, отношения сигнал/шум и коэффициента битовой ошибки для ВОСП-СР внедрены в учебный процесс МТУСИ в курсы «Волоконно-оптические линии связи», «Оптические направляющие системы и пассивные компоненты», а также в курсы повышения квалификации «Оптические кабели и пассивные компоненты», «Волоконно-оптические линии связи, строительство и эксплуатация», «Волоконная оптика в телекоммуникациях».

Реализация результатов работы и достигнутый эффект подтверждены соответствующими актами.

Во **введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и основные задачи исследования, научная новизна и положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** разработаны основные положения для создания методики определения хроматической и поляризационной модовой дисперсий при передаче сигналов по оптическим волокнам G-652 и G-655.

Показано, что на основании решения Гауэра и Агравала определение начальных исходных данных сигнала на основе гауссовского импульса получены точные решения по определению дисперсионной длины ХД, ПМД, ХД+ПМД, которые устанавливают четкую связь между сигналом передачи (система передачи) и дисперсией (характеристика оптического волокна, по которому передается сигнал). На основании этой связи определяется зависимость характеристик передачи от формата модуляции для различных скоростей передачи (например, 40 Гбит/с и 100 Гбит/с) при работе по оптическим волокнам G-652 и G-655 по рекомендации МСЭ-Т.

Доказано, что простые решения по уширению импульса, связанные с дисперсионной длиной однозначно согласуются с результатами, полученными Агравалом. Кроме того, эти решения связаны с Q-фактором, который определяет отношение сигнал/шум в оптическом канале.

Согласно полученным ранее решениям задержка сигнала по хроматической дисперсии составляет $0,25T_0$, а задержка по ПМД имеет два подхода.

При распределении векторных составляющих ПМД используется гауссовское распределение, а при распределении плотности распределения дифференциальной групповой задержки – Максвелловское распределение.

Во второй главе исследовано влияние ПМД на уменьшение длины участка регенерации с учетом формата модуляции. Доказано, что при допустимых потерях на дисперсию в 2 дБ можно увеличить длину участка регенерации до $1,25L_n$. Это можно рассматривать как один из пассивных методов компенсации хроматической дисперсии в одномодовых оптических волокнах при формате модуляции NRZ (невозврата к нулю). При спектральном уплотнении и формате модуляции RZ этот метод также применяется для увеличения длины участка регенерации.

В третьей главе рассмотрены методики расчетов компенсации хроматической и поляризационной модовой дисперсий, упреждающая коррекция ошибок при скорости передачи 10- 100 Гбит/с при форматах модуляции NRZ, RZ, CRZ. Показано воздействие УКО на выбор длины УУ с учетом хроматической и поляризационной модовой дисперсий и на отношение сигнал/шум. Рассмотрена известная методика компенсации ХД и её воздействие на величину ПМД при различных схемах компенсации ХД. Предложена схема компенсации ХД и ПМД с помощью модового трансформатора путем преобразования основной волны LP01 в волну LP02 и обратно.

В четвертой главе представлена методика расчета длины регенерационного участка для одноволновой передачи и ВОСП-СР с учетом ограничений по дисперсии, при ограничении расстояний между каналами ВОСП-СР для скоростей передачи 10 и 40 Гбит/с для ОВ типа G-652 и G-655 по рекомендации МСЭ-Т. При этом полученная связь между 9-ю параметрами (ОСШ в оптическом канале, ОСШ в электрическом канале, хроматическая дисперсия, поляризационная модовая дисперсия, дисперсионная длина по хроматической дисперсии, дисперсионная длина по хроматической и поляризационной модовой дисперсиям и суммарная дисперсионная длина в зависимости от скорости передачи, типа метода модуляции и типа ОВ с учетом упреждающей коррекции ошибок), позволяет, в зависимости от характеристик передатчиков и приемников системы

передачи и системы ВОСП-СР, оптимально выбрать допустимую длину участка регенерации и усиления.

Основная проблема с PMD в оптических волоконных системах заключается в ее стохастической природе, а именно основное состояние поляризации (PSP) и DGD меняется по шкале времени от миллисекунд (акустические колебания) до месяцев (температурные изменения подземного оптоволокна).

Осуществляя компенсацию хроматической дисперсии с помощью ОВ для компенсации на линии с N количеством усилителей, мы увеличиваем поляризационную модовую дисперсию при высоких скоростях передачи. Для ограничения ПМД используют понятие вероятности (часто 10^{-5} или 5 мин/год) для большинства систем.

Следует подчеркнуть, что при компенсации хроматической дисперсии и увеличении числа промежуточных усилителей поляризационная модовая дисперсия увеличивается и не компенсируется при компенсации хроматической дисперсии с помощью компенсирующих оптических волокон и различных компенсаторов хроматической дисперсии.

В заключении изложены основные результаты работы, полученные в диссертационной работе.

Замечания по работе:

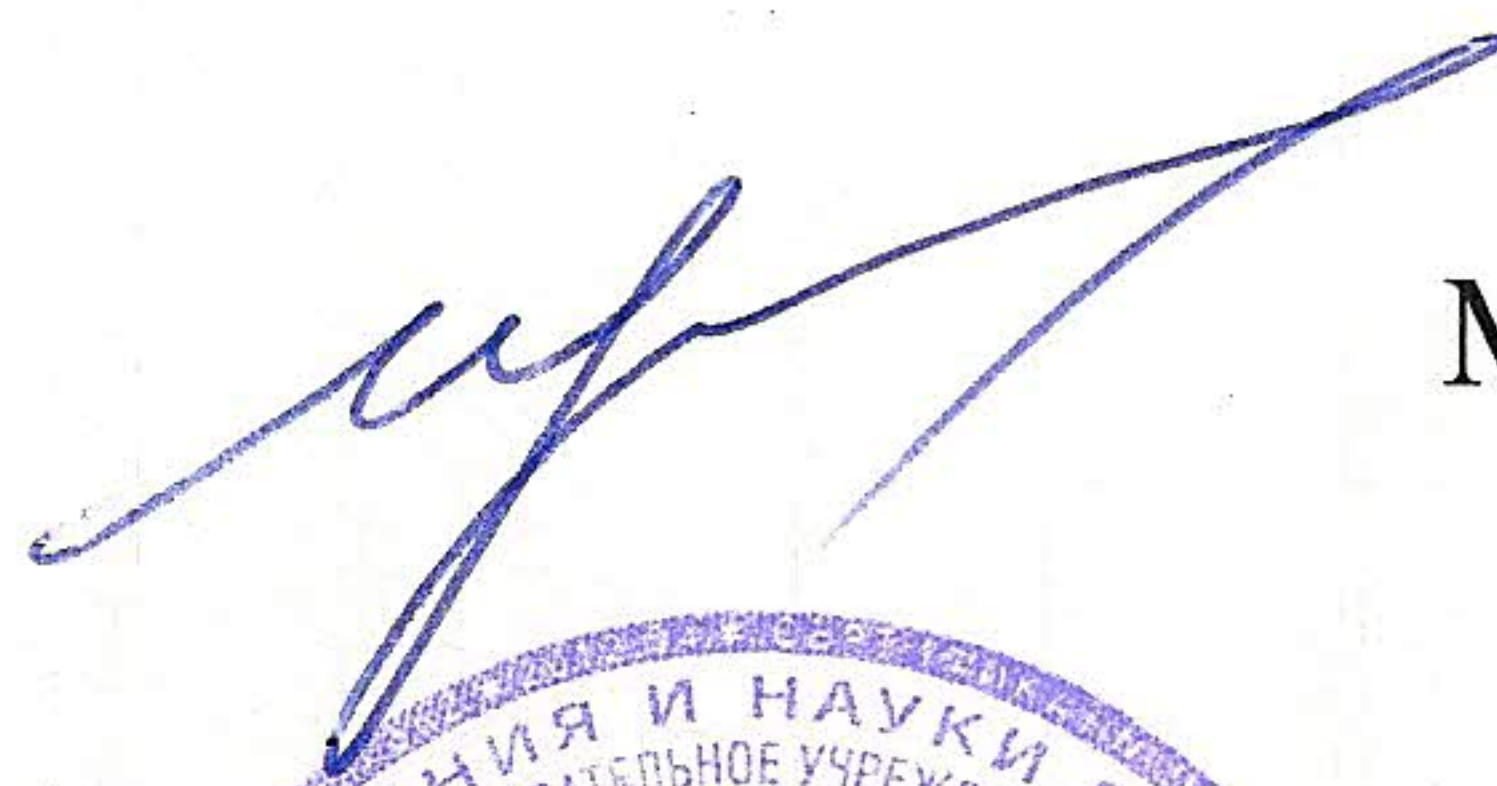
1. Наибольшую смысловую нагрузку несет 4-я глава и она перегружена формулами из 3-ей главы.
2. Вторая и третья главы привязаны к 4-ой главе и часть полученных выражений встречаются во всех трех главах.
3. Приведенные экспериментальные результаты не позволяют точно определить их связь с полученными автором формулами.
4. Не отмечены точками результаты расчетов на экспериментальных графиках.
5. Нет связи полученных выражений с углом ввода ПМД.

Эти замечания носят рабочий характер и не влияют на высокую оценку работы в целом.

Основные результаты, полученные Григорьяном А.К. являются оригинальными и достоверными, что подтверждает сравнительный анализ с аналогичными исследованиями других, в том числе и зарубежных авторов. Результаты работы отражены в 22 научных публикациях, в том числе трех патентах на изобретения и апробированы на научных конференциях и семинарах. Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым Высшим аттестационным комитетом РФ к кандидатским диссертациям, а Григорьян А.К. заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор кафедры ФТЭМК
ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ»

Подпись М.А.Боева



М.А.Боев



удостоверяю



**Отзыв официального оппонента на диссертационную работу
аспиранта МТУСИ Григорьяна А.К. на тему :**

"Исследование и разработка современной методики определения влияния хроматической и поляризационной модовой дисперсий на передачу сигналов и методов их компенсации при высоких скоростях передачи"

На отзыв представлены: диссертация объемом 202 страниц основного текста, включающая введение, четыре главы и заключение, список литературы из 122 наименований и 2-х приложений, Автореферат, в котором дана общая характеристика работы, кратко изложено содержание и приведены основные результаты, список опубликованных работ соискателя по теме диссертации из 22 наименования

Актуальность темы

Диссертационная работа Григорьяна А.К. посвящена исследованию влияния поляризационной модовой и хроматической дисперсий и методов их компенсации на передачу сигналов и разработке современной методики их определения при выборе оптимальной длины усилительного и регенерационного участка.

Широкое внедрение на транспортной (магистральной и внутризоновой) сети Российской Федерации (РФ) волоконно-оптических линий связи требует оптимальных решений по выбору ОВ, например G-655 (A,B,C) Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) и новых современных конструкций волоконно-оптических кабелей (ВОК). Однако, уже созданная транспортная сеть была ориентирована на дешевые ОВ по рекомендации МСЭ-Т G-652 (A,B,C,D). Этот тип ОВ в самом широко используемом окне прозрачности имеет достаточно большое значение хроматической (16-18 пс/нм·км) и поляризационной дисперсий (0,2-0,5пс/√км) при высоких скоростях передачи (выше 10 Гбит/с).

Возрастание требований к широкополосности пропускной способности сети связи на всех участках транспортной сети и сети доступа приводит к необходимости увеличения скорости передачи с 10 Гбит/с до 100 Гбит/с и

выше, и внедрения спектрального уплотнения ВОСП-СР. Если при малых скоростях передачи на длину участка регенерации определяющим фактором был параметр затухания (до 6 Гбит/с), то с 10 Гбит/с и выше длину участка регенерации определяет хроматическая дисперсия, а с 40 Гбит/с ХД и ПМД. При внедрении спектрального уплотнения требуется увеличить суммарную мощность, что приводит к нелинейным эффектам.

Вместе с тем, сочетание методов модуляции, нелинейных эффектов за счет усиления сигналов и дисперсионных параметров оптических волокон (ОВ) позволяет управлять режимом компенсации хроматической дисперсии и учитывать ПМД.

Существуют неточности при рассмотрении данной задачи:

- не учтены решения, связанные с линейной фазовой модуляцией,
- не учтены нелинейные эффекты при рассмотрении данной задачи,
- не учтено воздействие ВОСП-СР на полученное решение.

Несомненно, рассмотрение всего комплекса задач, связанных с хроматической, поляризационной модовой дисперсией и нелинейных эффектов позволит усовершенствовать существующие методики, привязав их к действующим нормам.

Научная новизна, обоснованность и достоверность результатов работы

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решены следующие задачи:

- Разработка метода расчета длины усилительного и регенерационного участка с учетом параметров хроматической дисперсии и поляризационной модовой дисперсии и современных форматов модуляции при скоростях передачи 40 и 100 Гбит/с для ОВ G-652 и G-655 по рекомендации МСЭ-Т.
- Определение длины РГУ с учетом ХД и ПМД для скоростей передачи 40 – 100 Гбит/с
- Уточнение решений по определению отношения сигнал/шум для одноволновой передачи для рассматриваемых типов ОВ ХД и ПМД.
- Уточнение решений по определению отношения сигнал/шум и коэффициента битовых ошибок для ОВ при ВОСП-СР с учетом ПМД.
- Решения по предварительной коррекции ошибок с применением современных кодов с учетом ХД и ПМД.

Результаты работы прошли всестороннюю как теоретическую, так и практическую апробацию, что указывает на обоснованность и достоверность результатов работы. По теме диссертации опубликовано 22 работа, в том числе 3 патента на изобретение.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы

Основные результаты исследований, рекомендации по методикам расчета хроматической дисперсии и длины РГУ и методики определения отношения сигнал/шум и вероятности ошибки внедрены на предприятиях «Ростелеком», Гипросвязь, в учебный процесс МТУСИ.

Полученные патенты на конструкции ОК могут быть использованы заводами, производящими ОК.

Методики расчета хроматической дисперсии и ПМД, отношения сигнал/шум и коэффициента битовой ошибки для ВОСП-СР внедрены в учебный процесс МТУСИ в курсы «Волоконно-оптические линии связи», «Оптические направляющие системы и пассивные компоненты», а также в курсы повышения квалификации «Оптические кабели и пассивные компоненты», «Волоконно-оптические линии связи, строительство и эксплуатация», «Волоконная оптика в телекоммуникациях».

Реализация результатов работы и достигнутый эффект подтверждены соответствующими актами.

Замечания по работе:

-перегрузка материала первой главы усложняет восприятие оценки вклада автора, особенно много представлено описаний оптических волокон и их характеристик,

- выражения ПМД представлены в первой главе (стр. 59), во второй главе (стр. 72 и 84), четвертой главе (стр.160), зачем так много?

-в четвертой главе не показана четкая связь между полученными выражениями и результатами экспериментов,

- в четвертой главе не показано, как ПМД изменяет допустимую длину и при каких условиях следует выполнять компенсацию ПМД.

Общая оценка диссертации

Диссертационная работа Григорьяна Артема Кареновича является законченным научным трудом, в котором решается актуальная задача разработки алгоритмической методики определения длины усилительного и регенерационного участка с учетом 8 составляющих (затухания, модуляции, упреждающей коррекции ошибки, отношения сигнал/шум, хроматической и поляризационной дисперсий и методов компенсации), что позволяет более точно решить поставленную задачу. Научная обоснованность и практическая ценность работы, апробация и публикация основных результатов, позволяет сделать заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК РФ к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация соответствует специальности:

05.12.13 - "Системы, сети и устройства телекоммуникации"

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Официальный оппонент

Земляков Евгений

Александров

Подпись

удостоверяю

