



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт связи» (ФГУП ЦНИИС) на диссертацию Рабенандрасана Жослена «Исследование влияния на окно работоспособности хроматической и поляризационной модовой дисперсий при фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи со спектральным уплотнением», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

1. Актуальность темы исследования

Сегодня волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) играют важную роль на сетях связи. При этом существует значительный нереализованный потенциал в части повышения скорости передачи информации по оптическим волокнам и снижения за счет этого удельной цены услуг в расчете на один бит передаваемой информации. Заметим, что пропускная способность транспортных сетей связи за последние 20 лет увеличилась примерно в 1000 раз.

Совершенствование глобальной информационной инфраструктуры постоянно стимулирует повышение скорости передачи по оптическому волокну (ОВ). Вместе с тем увеличение скорости передачи при росте числа спектральных каналов приводит к увеличению плотности каналов и уменьшению расстояния между каналами. При этом увеличивается как хроматическая, так и поляризационная модовая дисперсии за счет возрастания фазовой кросс-модуляции, четырехволновом смешивании и других нелинейных эффектах.

При наличии фазовой самомодуляции и кросс-модуляции хроматическая дисперсия и поляризационная модовая дисперсия являются ограничивающими факторами при определении длин регенерационного и усилительных участков ВОСП с оптическими каналами со скоростью 40 Гбит/с и выше. Нелинейные эффекты возрастают в случае увеличения пороговой мощности, при котором они воздействуют на передачу оптических сигналов при спектральном мультиплексировании и большой суммарной мощности, вводимой мощности в ОВ. В связи с вышеуказанным актуальность темы диссертационного исследования не вызывает сомнений. Данное направление исследований особенно актуально для высокоскоростных WDM-систем передачи с плотным расположением спектральных каналов, и при прямом детектировании, и при когерентном приеме.

Вход. № 63/21
«14» 05 2021 г.
подпись *Май*

2. Цель научного исследования

Цель научного исследования – радикальное уменьшение влияния хроматической и поляризационной модовой дисперсий при сильном воздействии фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции.

3. Структура и основные результаты работы

Представленная диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и списка литературы.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированные цель и задачи исследования, представлена научная новизна, указано значение полученных автором результатов для теории и практики, приведены основные положения, выносимые на защиту, представлены сведения о структуре работы.

В **первом разделе** основное внимание уделяется анализу состояния влияния линейных и нелинейных эффектов при распространении сигнала по оптическому волокну. Рассмотрена классификация факторов, ухудшающих оптический сигнал. Приведено определение внутриканальных и межканальных нелинейных эффектов керровского типа, а также рассмотрено исследование влияния неупругих рассеяний: рамановского и бриллюэновского.

Во **втором разделе** приведена оценка изменения окна работоспособности оптического волокна при наличии негативных воздействий. Дано определение термина «окно работоспособности». Рассмотрены базовые критерии оценки технологического уровня волоконно-оптических систем передачи, построенные с учетом производительности систем связи. Предложена новая методика определения дисперсионной длины под действием хроматической и поляризационной модовой дисперсий при сильном воздействии фазовой самомодуляции и кросс-модуляции, позволяющая определить потери мощности при их совместном воздействии и оценить изменение окна работоспособности для одномодовых оптических волокон G.652, G.655, G.654.E, в частности, TXFTM Corning и скоростей передачи 10-100 Гбит/с с учетом форматом модуляции.

В **третьем разделе** разработаны методы улучшения окна работоспособности путем уменьшения негативных воздействий при распространении оптического сигнала. Рассмотрены методы компенсации хроматической дисперсии на основе применении компенсирующего волокна и FIR-фильтра в случае использования когерентного детектирования при помощи DPS-модуля. Для ослабления влияния поляризационной модовой дисперсии применяются формат RZ-DQPSK при скорости передачи 40 Гбит/с и адаптивные эквалайзеры с алгоритмами CMA и LMA в когерентных системах. Приведено

сравнение передаточных характеристик одномодовых оптических волокон по критерию уменьшения влияния нелинейных эффектов. Результаты исследования оптического отношения сигнал/шум (OSNR) показывают, что использование волокна TXF™ Corning позволяет получить выигрыш 2-3 дБ по сравнению с волокном SMF-28 ULL и еще больший по сравнению с другими волокнами, такими как G.652 и G.655.

В четвертом разделе диссертации представлены основные результаты научного исследования. Показано применение полученных решений, связанных с компенсацией линейных и нелинейных эффектов в третьем разделе в определении длины регенерационного или усилительного участков и величины OSNR. Создана уточненная методика расчета регенерационного (усилительного) участка с учетом нормы потерь по дисперсиям с учетом компенсации хроматической и поляризационной модовой дисперсий при наличии фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции и при применении Рамановского усилителя для скорости передачи 40 Гбит/с и оптических волокон G.652, G.655 и TXF™ Corning. Выполнено сравнение методики определения величины OSNR, предположенное в диссертации, с методикой, изложенной в рекомендации ITU-T G.692. Получены решения, позволяющие точно определить коэффициент битовых ошибок при проектировании высокоскоростных наземных волоконно-оптических линий связи при открытом окне работоспособности.

Заключение содержит основные выводы и результаты выполненной диссертационной работы.

4. Научная новизна работы

Научная новизна диссертационной работы заключается:

1. Получена новая аналитическая методика оценки изменения окна работоспособности, отличающаяся от других методик учетом совместного воздействия хроматической и поляризационной модовой дисперсий при сильной фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции и плотном канальном трафике.
2. Впервые получена новая методика определения дисперсионной длины и потерь мощности под действием хроматической и поляризационной модовой дисперсий с учетом фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции, позволяющая оценить изменения окна работоспособности на основе потерь мощности.
3. Получены решения, связанные с компенсацией линейных и нелинейных эффектов, которые открывают возможность эффективно стабилизировать изменения окна работоспособности благодаря уменьшению потерь мощности в системах спектрального уплотнения с ростом скорости передачи.

4. Получены решения для определением ожидаемого значения отношения оптический сигнал/шум на регенерационном (усилительном) участка с учетом при компенсации линейных и нелинейных эффектов по методике, отличающийся от методики ITU-T G.692, которые позволяют точно определить коэффициент битовых ошибок.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в выявлении особенности влияния хроматической дисперсии и поляризационной модовой дисперсии на передачу сигналов и на качество передачи при наличии фазовой самомодуляции и кросс-модуляции, которые также угрожают закрытие окна работоспособности волоконно-оптических систем передачи.

Практическая значимость работы заключается в оценке влияния фазовой самомодуляции и кросс-модуляции на ухудшение параметров оптического сигнала при воздействии линейных эффектов (хроматической и поляризационная модовой дисперсии), которые могут быть использованы при проектировании и эксплуатации наземных высокоскоростных WDM-систем. Рекомендация по применению волокна типа TXF™ Corning является наиболее эффективным решением реализации высокоскоростных систем передачи класса 100G и выше.

6. Личный вклад соискателя

Все выносимые на защиту результаты и положения, составляющие основное содержание диссертационной работы, разработаны и получены соискателем лично.

7. Достоверность

Достоверность результатов, полученных в ходе выполнения диссертационного исследования, обеспечена корректностью использования математических методов, и подтверждается соответствием результатов аналитических расчетов и численного моделирования.

8. Методологии и методы исследования

При проведении научного исследования были использованы методы теории оптических волноводов и нелинейной оптики, теории линий передачи, теории цифровой обработки сигналов, теории дифференциального и интегрального исчисления и численного моделирования.

9. Апробации и публикации результатов исследования

Материалы диссертации и отдельные ее главы докладывались, обсуждались и были одобрены на 7 международных отраслевых научно-технических конференциях и форумах. Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 4 статьях в

рецензируемых журналах, входящих в Перечень ВАК при Минобрнауки РФ. 2 публикации опубликованы в издании, индексируемом в международной базе SCOPUS. В этой связи, уровень апробации диссертационной работы на международных конференциях и форумах, а также их опубликование в отечественных и международных научных изданиях предоставляется вполне достаточным и удовлетворяет требованиям положения о присуждении ученых степеней.

10. Рекомендации по использованию результатов диссертации

Основные положения, полученные результаты и выводы выполненной диссертационной работы рекомендуются для использования при проектировании наземных высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи при прямом и когерентном детектировании. Полученные методы расширения окна работоспособности путем уменьшения влияния негативных воздействий на передачу сигналов по оптическому волокну могут быть использованы при передаче со скоростью до 100 Гбит/с.

11. Соответствие положений на защиту выбранной специальности

Тема и содержание выполненного диссертационного исследования соответствуют паспорту научной специальности 05.13.12 – Системы, сети и устройства телекоммуникации.

12. Замечание по диссертационной работе

В качестве замечания диссертационной работе можно отметить следующее:

1. Перегрузка материала первой главы усложняет восприятие оценки вклада соискателя.
2. Несмотря на подробное изучение отечественных и зарубежных материалов в диссертационной работе не приведены экспериментальные результаты для определения их связи с полученными автором формулами.
3. В заключении диссертации было бы целесообразно указать направления дальнейших исследований.

13. Общее заключение

Вышеуказанные замечания носят рабочий характер и не снижают высокую ценность и положительную оценку данной диссертационной работы в целом. Диссертация Рабенандрасана Жослена представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, посвященную актуальной проблематике, содержит новые научные результаты, положения, имеет очевидную теоретическую и практическую ценность.

Диссертация «Исследование влияния на окно работоспособности хроматической и поляризационной модовой дисперсий при фазовой самомодуляции и фазовой кросс-модуляции высокоскоростной волоконно-оптических систем передачи со спектральным уплотнением» удовлетворяет требования Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.03.2013 г. №842 (в редакции постановления Правительства РФ от 21.04.2016 №335), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Рабенандрасана Жослен заслуживает присуждения ученой степени кандидата технической науки по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникации.

Отзыв подготовлен главным научным сотрудником ФГУП ЦНИИС, доктором технических наук, старшим научным сотрудником Цымом Александром Юрьевичем по результатам обсуждения диссертации на техническом совещании НЦ-21, протокол №1 от 14 мая 2021 г.

Главный научный сотрудник
ФГУП ЦНИИС, д.т.н., с.н.с.,
Заслуженный работник связи
Российской Федерации



А. Ю. Цым

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт связи», ФГУП ЦНИИС

Адрес: 1-й проезд Перова поля, д. 8, Москва, 111141

Тел. (495) 306 32 78, Факс (495) 674 00 67

e-mail: info@zniis.ru

сайт: <https://www.zniis.ru/>

Подпись А. Ю. Цыма заверяю

И.о. генерального директора ФГУП ЦНИИС



О.А. Бычкова