



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор ООО «Т8 НТЦ», к. ф.-м. н.

Трещиков В.Н.

«28» февраля 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-технического совета ООО «Т8 НТЦ»

Диссертация «Увеличение производительности однопролетных когерентных линий связи с рамановскими усилителями» прошла апробацию на заседании Научно-технического совета ООО «Т8 НТЦ».

В период подготовки диссертации соискатель Шихалиев Игорь Игоревич являлся аспирантом кафедры радиотехники и систем управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (МФТИ (НИУ))». С 2014 года по настоящее время, включая период подготовки диссертации, соискатель является инженером 1 категории научно-исследовательского отдела ООО «Т8 НТЦ».

В 2014 г. окончил МФТИ (НИУ) по специальности «Прикладная математика и физика», в 2017 г. сдал кандидатские экзамены. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2019 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель работы – доктор физико-математических наук Наний Олег Евгеньевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Актуальность темы исследования.

В течение последних нескольких десятилетий наблюдается непрерывное увеличение спроса на пропускную способность и дальность передачи волоконно-оптических линий связи. Емкость оптических систем связи выросла более чем в 100 000 раз за 40 лет. Если в начале 1970-гг. по одному волокну передавали менее 100 Мбит/с, то к настоящему времени емкость коммерческих систем может достигать десятков Тбит/с. Кроме того, возникает необходимость развития волоконно-оптических линий связи в удаленных труднодоступных районах, для чего необходимо закладывать пролеты большой длины. Значительно увеличить пропускную способность и дальность линии позволяет использование распределенных рамановских усилителей и эрбиевых усилителей с удаленной накачкой.

Диссертационная работа Шихалиева И.И. посвящена исследованию увеличения производительности (определяемой, как произведение пропускной способности на дальность передачи) однопролетных когерентных линий связи с применением распределенных рамановских усилителей. Отличительной чертой таких усилителей является то, что усиление сигнала происходит в самом телекоммуникационном волокне.

Основное преимущество рамановских усилителей заключается в существенном уменьшении уровня шума на приемной стороне. Рамановский усилитель позволяет существенно увеличить емкость действующих линий связи за счет перехода к новым форматам передачи данных с увеличенной спектральной эффективностью, например, от DP-QPSK к DP-16QAM. Более высокие требования к качеству сигнала не позволяют использовать такие высокопроизводительные форматы модуляции в линиях связи с традиционными эрбиевыми усилителями. Еще одним применением рамановских усилителей являются линии, содержащие пролеты большой протяженности. В таких линиях невозможно добиться работоспособности стандартными эрбиевыми усилителями и в них применяются дополнительные оптические методы увеличения дальности: распределенное ВКР- усиление, эрбиевый усилитель с удаленной накачкой.

2. Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

1. Определена погрешность и область применимости приближенного метода экспресс-измерения коэффициента ВКР по спектрам собственного усиленного спонтанного комбинационного рассеяния.

2. Предложена методика экспериментального измерения нелинейного интерференционного шума в когерентных линиях связи с попутными рамановскими усилителями.

3. Экспериментально установлено, что увеличение эксплуатационного запаса линии за счет использования попутного рамановского усилителя может достигать 6 дБ и определяется числом каналов в линии, мощностью накачки и другими параметрами.

4. Экспериментально установлено, что увеличение производительности линии за счет использования удаленного эрбиевого усилителя с попутной накачкой падает с ростом числа каналов в линии вплоть до отрицательных значений. Применение удаленного эрбиевого усилителя с попутной накачкой целесообразно в линиях связи с числом каналов до 10.

5. Разработана оригинальная методика оптимизации сверхдлинной однопролетной линии с распределенными рамановскими усилителями и эрбиевыми усилителями с удаленной накачкой с помощью которой созданы однопролетные линии с рекордными параметрами.

6. Предложен оригинальный алгоритм стабилизации коэффициента усиления сигнала в попутном широкополосном рамановском усилителе и экспериментально продемонстрирована его работоспособность.

7. Создан комплекс программ, предназначенный для моделирования распределенных рамановских усилителей. На основе проведенных измерений создана база данных спектров затухания и коэффициентов вынужденного комбинационного рассеяния основных телекоммуникационных волокон. Проведена экспериментальная верификация данной модели, показавшая ее высокую точность.

3. Личный вклад автора. Все использованные в диссертации экспериментальные результаты получены автором лично или при его определяющем участии. Численные расчеты распределенного рамановского усилителя проведены лично автором или при его определяющем участии. Численные расчеты модели нелинейного гауссового шума в когерентных линиях связи проведены совместно с сотрудниками научно-исследовательского отдела «Т8 НТЦ».

4. Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 57-й международной научной конференции МФТИ, Долгопрудный, 2014 г.; на первой, третьей и четвертой международных конференциях Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T, Долгопрудный, 2014, 2016, 2017 гг; на пятой и шестой всероссийских конференциях по

волоконной оптике, Пермь, 2015, 2017 гг; на первой конференции по фотонике стран БРИКС, Москва, 2016г.; на XIV Международной научной конференции «Оптические технологии в телекоммуникациях», Самара, 2016 г.; на 12 и 13 международной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики», Москва, 2017, 2018 гг; на VII Международной конференции «Фотоника и информационная оптика», Москва, 2018 г.

5. Научная и практическая значимость полученных результатов исследования и рекомендации по дальнейшему их использованию.

- Разработано оборудование для сверхдлинных однопролетных линий связи, в частности, гибридный и рамановский усилитель
- Разработан оригинальный алгоритм стабилизации коэффициента усиления и наклона спектра усиления в попутном широкополосном рамановском усилителе
- На основе полученных экспериментальных и численных результатов создан комплекс программ для расчета характеристик телекоммуникационных волоконно-оптических линий связи с когерентным приемником с применением распределенных рамановских усилителей и эрбиевых усилителей с удаленной накачкой, который применяется при проектировании линий связи ООО «Т8» (г. Москва).

6. Оценка структуры диссертации, языка и стиля изложения научного материала. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, написана техническим грамотным языком и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

7. Соответствие содержания диссертации научной специальности. Тема и содержание диссертационной работы соответствует научной специальности 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», по которой она представлена к защите.

8. Публикации и апробация работы. По материалам диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 6 статей, из которых 4 статьи в изданиях, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, 4 статьи, входящие в научные журналы из перечня ВАК, и в 3 тезисах российских конференций.

Статьи в журналах/сборниках из перечня ВАК

1. Шихалиев, И. Простой метод измерения эффективного коэффициента ВКР в одномодовых волоконных световодах и область его применимости / И.И. Шихалиев, В.В. Гайнов, А.Н. Дорожкин, О.Е. Наний, В.А. Коньшев, В.Н. Трещиков // Квантовая электроника. – 2017. – Т.47, №10, – С. 906-910.

2. Старых, Д. Экспериментальное исследование нелинейного режима работы DP-QPSK 100G линии связи, содержащей распределенный рамановский усилитель с попутной накачкой / Д. Д. Старых, И. И. Шихалиев, В. А. Коньшев, О. Е. Наний, В. Н. Трещиков, Р. Р. Убайдуллаев, Д. Р. Харасов // Квантовая электроника. – 2018. – Т.48, №8, – С. 767-772.

3. Коньшев, В. Улучшение оптического качества сигнала при нелинейном взаимодействии спектральных каналов / В. А. Коньшев, А. В. Леонов, О. Е. Наний, А. Г. Новиков, И. И. Шихалиев, В. Н. Трещиков, Р. Р. Убайдуллаев // Квантовая электроника. – 2016. – Т.46, №10, – С. 924-929.

4. Шихалиев, И. Широкополосный гибридный оптический усилитель: как улучшить существующие ВОЛС / И. Шихалиев, С. Лукиных, О. Наний, В. Трещиков, Д. Старых, В. Коньшев, Р. Убайдуллаев // Первая Миля. — 2018. — № 2. — с. 68-72.

Статьи в журналах/сборниках из перечня Web of Science/Scopus (исключая статьи, входящие в предыдущий список)

1. Gainov, V. 500 km unrepeated 200 Gbit s⁻¹ transmission over a G.652-compliant ultra-low loss fiber only / V V Gainov, N V Gurkin, S N Lukin, I I Shikhaliev, P I Skvortsov, S Makovejs, S G Akopov, S Y Ten, O E Nani and V N Treshchikov // Laser Physics Letters, – 2015. – May. – Vol. 12, no. 6. – P. 066201(1)-066201(6)

В других изданиях

1. Гайнов, В. Однопролетные оптические линии связи большой протяженности / В.В. Гайнов, В.А. Коньшев, А.В. Леонов, С.Н. Лукиных, О.Е. Наний, П.И. Скворцов, В.Н. Трещиков, И.И. Шихалиев, Р.Р. Убайдуллаев // Прикладная фотоника. – 2015. – Т.2, №1, – С. 5-22.

Тезисы

1. Шихалиев, И. Простой метод измерения эффективного коэффициента ВКР в одномодовых волоконных световодах и область его применимости / И.И. Шихалиев, В.В. Гайнов, О.Е. Наний, В.Н. Трещиков // материалы конференции "Оптические технологии в телекоммуникациях" ООО "16ПРИНТ". – Самара. – 2015. – с. 52-53

2. Шихалиев, И. Оптимизация однопролетных линий связи / И.И. Шихалиев, В.В. Гайнов, О.Е. Наний, В.Н. Трещиков, В.А. Коньшев, С.Н. Лукиных, П.И. Скворцов // Фотон-экспресс, спецвыпуск по материалам Всероссийской конференции по волоконной оптике г. Пермь 7-9 октября 2015 года. – Москва. – 2015. – Т.6, №126, – С. 47-48.

3. Шихалиев, И. Распределенные рамановские усилители в волоконно-оптических линиях связи / И.И. Шихалиев, С.Н. Лукиных, О.Е. Наний, В.Н. Трещиков, В.А. Коньшев // Фотон-экспресс, спецвыпуск по материалам Всероссийской конференции по волоконной оптике г. Пермь 3-6 октября 2017 года. – Москва. – 2017. – Т.6, №142, – С. 84.

Диссертационная работа Шихалиева И.И. является законченной научно-исследовательской работой, в которой решены актуальные задачи увеличения пропускной способности и дальности однопролетных линий связи с применением распределенных ВКР-усилителей. Научная обоснованность, практическая ценность, реализация, апробация и публикация основных результатов работы позволяют сделать заключение о соответствии диссертационной работы требованиям, предъявляемым к работам данного характера на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Увеличение производительности однопролетных когерентных линий связи с рамановскими усилителями» Шихалиева Игоря Игоревича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Апробация диссертации Шихалиева И.И. проведена на заседании Научно-технического совета ООО «Т8 НТЦ» 28 февраля 2019 г.

Заключение принято голосованием участников заседания. Присутствовало на заседании 8 чел. Результаты голосования: «За» – 8 чел., «Против» – нет, «Воздержался» – нет. Протокол № 01-02/19 от 28 февраля 2019 г.



(подпись лица, оформившего заключение)

А.В. Леонов, д. т. н., Председатель НТС



(подпись лица, оформившего заключение)

В.В. Косов, к. т. н., Ученый секретарь НТС