

ОТЗЫВ

на диссертацию Шихалиева Игоря Игоревича

на тему «Увеличение производительности однопролетных когерентных линий связи с рамановскими усилителями», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автор отзыва

ФИО: Цветков Владимир Борисович

Ученая степень: доктор физико-математических наук

Год присуждения ученой степени и научная специальность, по которой присуждена ученой степени — 2002 г., 01.04.21 – лазерная физика

Ученое звание: нет

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

Должность: руководитель НЦЛМТ ИОФ РАН

Контактная информация: +7 (499) 503 8777 доб. 2-74, 3-90, e-mail: tsvetkov@lsk.gpi.ru

Рост объемов передаваемой информации требует увеличения пропускной способности волоконно-оптических линий связи. Помимо увеличения пропускной способности еще одной задачей является увеличения дальности одного пролета линии, для возможности передавать информацию в отдаленные населенные пункты. Широко используемые на сегодняшний момент усилители на основе волокна, легированного эрбием (EDFA), имеют ограничение по ширине рабочего спектрального диапазона и величине шум-фактора. Одним из

перспективных решений увеличения дальности однопролетных линий и увеличения пропускной способности является распределенный рамановский усилитель. Такие усилители обладают рядом достоинств, таких как: возможность обеспечения равномерной характеристики усиления практически в любом диапазоне полосы пропускания оптического волокна; возможность создания усиления с широким рабочим диапазоном (свыше 100 нм); лучшие шумовые характеристики по сравнению с EDFA; возможность использования, как специальных оптических волокон, так и уже проложенных телекоммуникационных волокон.

В диссертационной работе Шихалиева И.И. проведены исследования параметров когерентных однопролетных линий связи с рамановскими усилителями. Цель работы – увеличение дальности и скорости передачи информации в таких линиях. Кроме уже упомянутых распределенных рамановских усилителей, для достижения этой цели в работе исследована эффективность использования эрбиевых усилителей с удаленной накачкой. В диссертации автор показывает, что наибольшая дальность и пропускная способность может быть достигнута при совместном использовании этих двух типов усилителей. В работе используется как численное моделирование линии связи с распределенными ВКР-усилителями, так и экспериментальное прямое измерение вклада каждого из двух типов усилителей в производительность линии связи. Для построения адекватной численной модели автором экспериментально измерены коэффициенты затухания и коэффициенты ВКР основных телекоммуникационных волокон. Большинство численных расчетов были экспериментально проверены и подтверждена их хорошая точность.

Отдельное внимание в работе уделено распределенному рамановскому усилителю с попутной накачкой. Анализ работы этого усилителя наиболее сложен. На данный момент известно немного методик описания нелинейных искажений многоканальных информационных сигналов в линиях связи с попутным рамановским усилением, хорошо согласующихся с практикой. В своей работе автор предлагает и обосновывает феноменологическую модель

описания нелинейных искажений, адекватно описывающую основные экспериментальные результаты.

Особую практическую ценность работы представляет собой разработка двух оптических усилителей: гибридного и рамановского. Кроме того, на основе полученных численных и экспериментальных результатов, создан комплекс программ для расчета и оптимизации сверхдлинных однопролетных линий связи, используемый для расчета коммерческих линий.

Среди новых результатов, полученных соискателем, следует отметить следующие:

- разработана методика расчета и оптимизации сверхдлинных однопролетных линий связи, использование которой позволило создать экспериментальные стенды с рекордными параметрами линий;

- разработана методика экспериментального измерения нелинейного интерференционного шума в сверхдлинных однопролетных ВОЛС с попутными рамановскими усилителями и с ее помощью измерены нелинейные параметры сверхдлинных линий связи;

- предложен и реализован оригинальный алгоритм стабилизации коэффициента усиления и наклона спектра усиления рамановских усилителей и экспериментально доказана его работоспособность. Этот алгоритм уже нашел практическое применение в высокостабильных широкополосных рамановских усилителях, выпускаемых компанией Т8.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений.

Во введении сформулированы цели и задачи исследования, обоснована их актуальность, показана новизна и практическая значимость результатов диссертации, приведены основные положения, которые будут вынесены на защиту.

В первой главе дан краткий обзор современных однопролетных линий связи, рассмотрены основные методики увеличения производительности таких линий: распределенный ВКР- усилитель, эрбиевый усилитель с удаленной

накачкой. Соискателем описаны основные рекордные линии зарубежных и российских лидеров в сфере телекоммуникаций.

Вторая глава посвящена метрологической базе численной модели ВКР-усилителей. В ней рассмотрены основные методики измерения коэффициента вынужденного комбинационного рассеяния, приведено их описание и результаты, экспериментально полученные с помощью таких методик измерения. Соискателем подробно изложен метод измерения по спектрам усиленного спонтанного комбинационного рассеяния (УСКР). Отдельно проанализирована область применимости приближенного метода измерения по разности двух спектров УСКР.

В третьей главе дается описание численной модели ВКР-взаимодействия, основанного на скоростных уравнениях. Подробно описана модель встречного рамановского усилителя и приведены результаты экспериментальной верификации данной модели. Помимо встречного рамановского усилителя также приведено описание удаленного эрбиевого усилителя со встречной накачкой. Перечисленные усилители являются основными кандидатами на применение при увеличении дальности классических линий связи, использующих исключительно только из эрбиевые усилители.

Четвертая глава посвящена попутному рамановскому усилителю и его влиянию на параметры однопролетной линии связи. Соискателем описана численная модель попутного рамановского усилителя, приведены результаты экспериментальной проверки расчета мощностей при ВКР-взаимодействии. В известную модель скоростных уравнения автором включена феноменологическая модель учета нелинейных искажений, возникающих на участке попутного рамановского усиления. Также в главе рассмотрен удаленный эрбиевый усилитель с попутной накачкой и оценена эффективность его использования в многоканальных линиях связи. Соискателем приведена оценка максимального числа каналов для применения такого усилителя.

В пятой главе соискателем приведено описание разработанных оптических усилителей, представляющих важную практическую часть работы.

Данные усилители разработаны соискателем совместно с сотрудниками компании Т8. В главе описаны основные характеристики устройств, функциональных схемы и основные компоненты, достоинства и область применимости таких усилителей. Для попутного рамановского усилителя с накачкой на четырех длинах волн автором предложена оригинальная методика стабилизации коэффициента усиления и наклона спектра усиления.

В заключении диссертационной работы суммируются результаты проведенного исследования.

К недостаткам диссертационной работы можно отнести следующее:

1. В диссертации излишне подробно изложен известный вывод скоростных уравнений ВКР.

2. На рисунках 17 и 18 диссертационной работы заметны некоторые различия в деталях спектров коэффициентов ВКР, измеренных различными методами, но не обсуждается вопрос о причинах этих различий: связаны ли они с принципиальными ограничениями того или иного метода или обусловлены погрешностями измерений при их практической реализации.

3. При анализе многоканальных DWDM систем связи не исследован вопрос о влиянии плотности расположения каналов на их производительность.

Приведенные выше замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Шихалиева И.И. и не снижают теоретическую и практическую значимость полученных результатов.

Автореферат и представленные публикации в полной мере отражают содержание диссертационной работы.

Диссертация Шихалиева И.И. на тему: «Увеличение производительности однопролетных когерентных линий связи с рамановскими усилителями» является самостоятельным научным исследованием и представляет собой, как это и предусмотрено «Положением о присуждении ученых степеней кандидата наук, доктора наук в Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете)» законченную научно-

квалифицированную работу, имеющую существенное значение для соответствующей отрасли знаний, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

доктор физико-математических наук,
руководитель НЦЛМТ ИОФРАН

08.04.2019



В.Б. Цветков

Подпись В.Б. Цветкова заверяю
Заместитель директора ИОФ РАН



Д.Г. Кочиев