

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Э.Л. Портнов, Т.Д. Фатхулин

Целью данной статьи является рассмотрение технических решений, позволяющих значительно увеличить пропускную способность современных оптических волокон. Проведен анализ ограничений, обусловленных использованием стандартных оптических волокон. Показана необходимость в разработке новых типов оптических волокон, позволяющих уменьшить влияние нелинейных эффектов. Приведены данные эксперимента по передаче 255 Тбит/с и рассмотрены конструктивные особенности используемого оптического волокна. В заключении сделаны выводы о необходимости разработки как активных, так и пассивных компонентов для нового типа оптических волокон.

Ключевые слова: суммарная мощность, маломодовое волокно, диаметр модового поля, скорость передачи, полоса усиления, формат модуляции, пропускная способность.

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO INCREASE THE CAPACITY OF OPTICAL FIBERS

Portnov E., Fatkhulin T.

The purpose of this article is to examine the technical solutions to significantly increase the capacity of modern optical fibers. The analysis of the constraints imposed by the use of standard optical fibers. The necessity to develop new types of optical fibers, allowing to reduce the influence of nonlinear effects. Results of the experiment data transfer 255 Tbit / s and design features used considered optical fiber. Finally, conclusions are drawn on the need for both active and passive components for a new type of optical fiber.

Keywords: total power, few-mode fiber mode field diameter, the transmission rate, the band amplification, modulation format, bandwidth.

Предполагается, что в ближайшее десятилетие емкость систем передачи увеличится в тысячу раз и достигнет Петабит/с [1]. Это позволит внедрить телевидение формата UltraHD, 3D и использовать приложения, требующие сверх-скоростных систем связи. Все это потребует создать новую оптическую инфраструктуру для поколения Петабитовых скоростей.

Стоит отметить, что используемые одномодовые оптические волокна рекомендаций G.652, G.653, G.655 на существующих волоконно-оптических системах передачи с использованием современных форматов модуляции скоро достигнут предельных для них показателей. Это обусловлено ограниченностью широкополосности современных оптических усилителей (ОУ) (EDFA, Рамановских и их комбинаций), а также ограничениями, связанными с уровнем вводимой оптической мощности в волокно. Так, при уровне оптической мощности в 1–2 Вт, вводимого в волокно, наблюдается плавление сердцевины оптического волокна. Если же используется волокно для компенсации хроматической

дисперсии, то уровень оптической мощности, при котором начинает плавиться сердцевина, достигается уже при 0,5 Вт. Все это не позволяет увеличивать уровень передаваемой оптической мощности в современных волоконно-оптических системах передачи со спектральным разделением каналов (WDM). Особенно эти ограничения влияют на подводные протяженные ВОСП, построенные на таких волокнах.

Современные ОУ способны поднять уровень мощности оптического излучения на 25–30 дБ на передаче. При этом стоит заметить, что уже при уровне оптического излучения больше 17 дБ в оптическом волокне начинают проявляться нелинейные эффекты (например, эффект Бриллюэна). При превышении некоторого уровня (экспериментально компания Alcatel-Lucent определила этот порог равным примерно 20 дБм) наблюдается сильное уширение спектра оптического сигнала на выходе ОУ, что может привести к недопустимому перекрытию между каналами в DWDM-системах. Зависимость ширины спектра оптического излучения на выходе ОУ от мощности выходного сигнала ОУ показана на рисунке 1 [2]. Компания Alcatel-Lucent рекомендует устанавливать мощность на уровне 19 дБм.

То есть, 17 дБ рекомендуется считать максимальным уровнем излучения в современных оптических волокнах, что значительно сокращает длину регенерационного участка. Использование предусилителей в волоконно-оптических системах передачи на приеме позволяет получить до 14 дБ выигрыша в бюджете мощности.

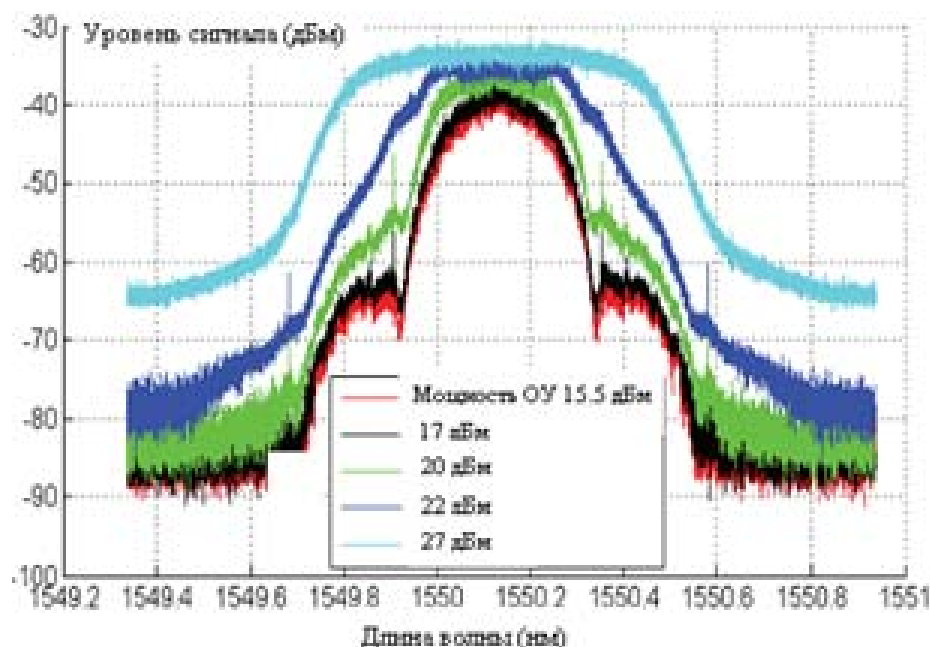


Рис. 1. Зависимость ширины спектра оптического излучения на выходе ОУ от мощности выходного сигнала ОУ

Рамановские усилители, которые усиливают оптический сигнал в волокне распределенным образом, часто имеют мощность лазера накачки порядка 1,2–

1,5 Вт. При этом длина волны накачки выбирается 1 450 нм, излучение накачки вводится с приемной стороны, то есть рассматривается рамановский предусилитель. Однако имеются варианты использования рамановских усилителей и на передаче. Все это дает основания сделать выводы о том, что во многих случаях уже достигнут предельный уровень оптической мощности и необходимо находить инновационные пути для передачи сигналов.

Таким образом, можно определить факторы, которые ограничивают использование оптических волокон в современных ВОСП:

- 1) ограничения, обусловленные вводимой суммарной мощностью в оптическое волокно;
- 2) ограничения полосы усиления современных ОУ;
- 3) ограничения по потребляемой мощности.

Считается, что максимальная емкость современных оптических волокон может быть не более 100 Тбит/с. Это почти в 1,5 раза больше существующей емкости оптического волокна. Скорость передачи по оптическим волокнам определяется в значительной степени полосой усиления современных оптических усилителей. Они могут работать в *S*-диапазоне 1460–1530 нм (70 нм – 9,4 ТГц), *C*-диапазоне 1 530–1 565 нм (35 нм – 4,4 ТГц) и *L*-диапазоне 1 565–1 626 нм (60 нм – 7,1 ТГц). Полная полоса усиления 1 460–1 625 нм (165 нм – 20,9 ТГц). Сегодня максимальная емкость межматериковой подводной системы передачи составляет около 10 Тбит/с (используется 8 пар оптических волокон с 1,28 Тбит/с на волокно).

Стоит отметить, что отечественные системы передачи лишь недавно смогли достичь суммарной емкости системы в 25 Тбит/с. При этом использовался формат модуляции DP-QPSK [3, 4], 25 суперканалов и одномодовое оптическое волокно. При разработке такой системы необходимо применение усилителей с полосой около 70 нм, использование сетки частот с шагом 33 ГГц и *EDFA* или гибридных усилителей, работающих в диапазонах *C* и *L*. Необходимо отметить, что требуется разработка активных и пассивных компонентов, работающих с нестандартной сеткой частот в 33 ГГц. В предлагаемых оптических модулях необходимо создание задающих, а также опорных лазеров, которые могут перестраивать длину волны излучения в диапазонах *C* и *L* с шагом 33 ГГц. Полоса усиления оптических усилителей, составляющая 70 нм, может быть достигнута путем использования двухканальных усилителей с полосовым мультиплексором и демультимплексором. Структурная схема реализуемой системы представлена на рисунке 2 [5].

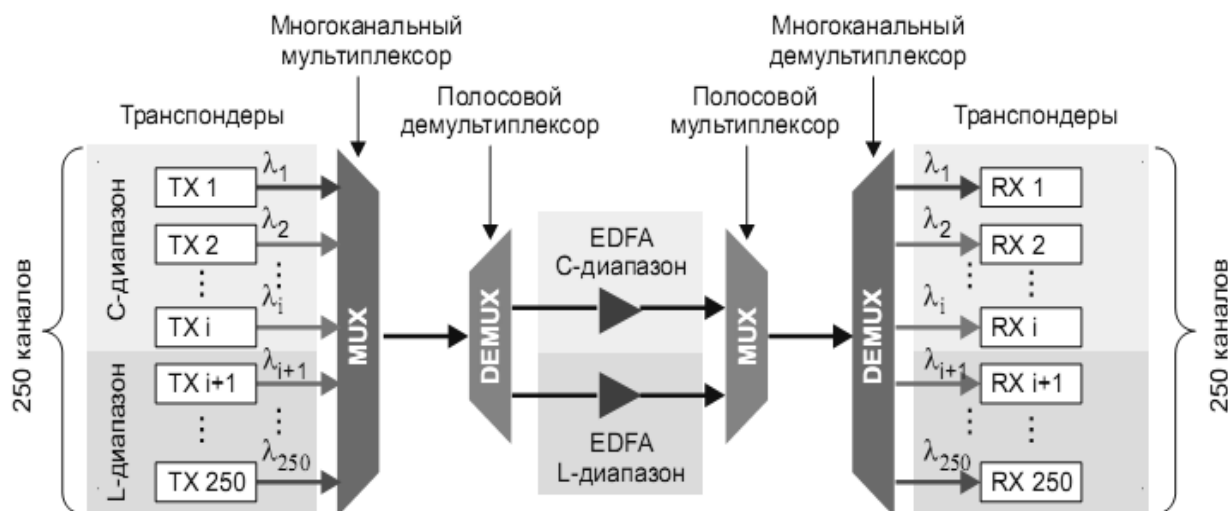


Рис. 2. Структурная схема реализуемой системы связи:
 TX i – передающие части транспондеров,
 RX i – принимающие части транспондеров

Обобщив вышесказанное можно заключить, что для преодоления ограничений по мощности оптического излучения необходимо создать и внедрить в производство оптические волокна с увеличенным диаметром сердцевины, либо с большим количеством сердцевины под оболочкой. Чтобы увеличить диаметр модового поля следует создать оптическое волокно с сердцевиной из чистого кварца и депрессировать оболочку фтором. Площадь модового поля такого оптического волокна будет порядка 112 мкм^2 , то есть для длины волны 1550 нм диаметр модового поля больше 10 мкм [2]. Если и дальше увеличивать диаметр модового поля, то получим маломодовое оптическое волокно. Для подводных систем передачи может использоваться маломодовый режим работы одномодового волокна с площадью модового поля 160 мкм^2 (длина волны 1550 нм) [1].

В настоящее время предпринимаются попытки по применению технологий, сочетающих в себе решения с маломодовыми и многосердцевинными оптическими волокнами. Так, летом 2014 г. международная рабочая группа High-Speed Optical Communications Group, используя кабель японской компании Telekom NTT, установила новый рекорд скорости в 43 Тбит/с . Использовался один лазер, который создавал сигнал в многосердцевинном кабеле с семью сердцевинами. Через некоторое время международная исследовательская команда из Нидерландов и США достигла скорости передачи уже 255 Тбит/с . При этом применялись маломодовые сердцевинки, в каждой из которых передавались 3 моды. Передавалось 50 оптических несущих с шагом сетки частот 50 ГГц . Для эффективного экранирования сердцевины друг от друга использовались небольшие отверстия, проделанные вокруг сердцевины (рис. 3). Однако такой кабель способен передавать сигнал только на расстояние до 1 км без искажений. Компании Alcatel-Lucent совместно с British Telecom удалось при проведении полевых испытаниях уменьшить интервал между каналами с 50

до 35 ГГц. Таким образом, рекордная скорость передачи данных уже в ближайшее время может увеличиться с 255 до 365 Тбит/с.

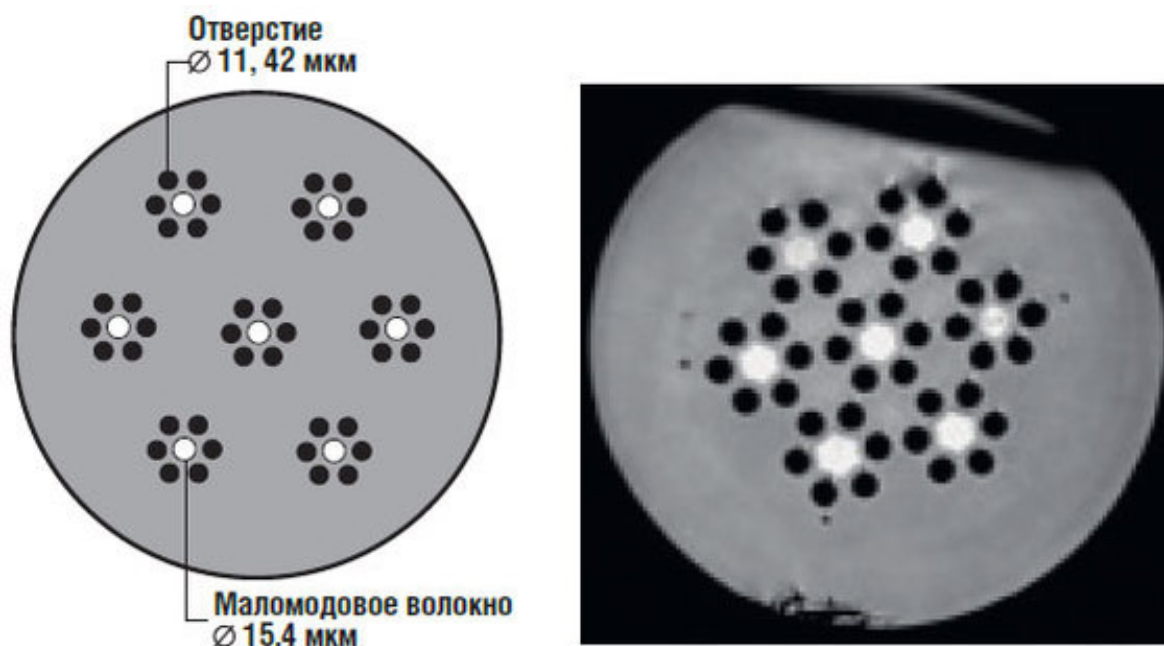


Рис. 3. Многосердцевинное волокно с семью маломодовыми сердцевинами

Важно отметить, что создание и разработка новых типов оптических волокон требуют создания элементной базы для таких ОВ. Волоконно-оптические кабельные линии состоят не только из передатчиков сигнала, кабеля и приемников сигнала, но и из большого числа элементов, необходимых для функционирования ВОСП. Это и активные, и пассивные элементы. Активные элементы: лазерные диоды, модуляторы, различные виды фотоприемников, регенераторы, усилители (EDFA, рамановские и их комбинации) и фотодиоды разного применения. Согласно рекомендации G.671, к пассивным оптическим компонентам относятся: мультиплексоры и демультиплексоры, включая WDM устройства:

- изоляторы;
- аттенюаторы;
- переключатели, коммутаторы;
- разветвители, ответвители, разделители (сплиттеры);
- коннекторы и другие соединители;
- адаптеры;
- пассивные компенсаторы дисперсии;
- оконцеватели для подавления отражений;
- волоконно-оптические циркуляторы;
- соединительные муфты;
- ремонтные вставки.

Для каждой конкретной ВОСП требуется определенное количество тех или иных элементов. Высокую спектральную эффективность можно получить,

применяя когерентные методы приема и передачи, а также модовое или пространственное мультиплексирование. Для широкого внедрения Петабитовых скоростей следует создавать новые технологии, позволяющие решить проблему ограничения полосы пропускания усилителей, вводимой в оптическое волокно мощности и потребляемой мощности, учитывая все элементы ВОЛС (волоконно-оптической линии связи).

Список используемых источников

1. Портнов Э. Л. Новые типы оптических волокон в телекоммуникациях и их применение // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 8. С. 96–98.
2. Портнов Э. Л., Фатхулин Т. Д. Технологии достижения высоких скоростей передачи в современных когерентных DWDM-системах связи // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Том 9. № 8. С. 34–37.
3. Портнов Э. Л. Оптические кабели и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 464 с.
4. Трещиков В. Н., Гуркин Н. В., Новиков А. Г., Наний О. Е. Российское DWDM-оборудование с канальной скоростью 100 Гбит/с // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2012. № 4. С. 65–67.
5. Трещиков В. Н. Разработка DWDM-системы емкостью 25 Тбит/с // Фотон-экспресс. 2013. № 2 (106). С. 24–28.