ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ РАЗВЕТВИТЕЛЕЙ В СЕТЯХ СВЯЗИ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ

P.V. Bazakutsa, *Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Director of Ltd. "OPTEL";*
M.A. Boev, *Dr. Sc. (Engineering), Professor, NRU MEI;*
A.V. Nikitin, *postgraduate student, NRU MEI*

П.В. Базакуца, *канд. физ.-мат. наук, директор ООО «ОПТЕЛ»;*
М.А. Боев, *д-р техн. наук, профессор НИУ «МЭИ»;*
А.И. Никитин, *аспирант НИУ «МЭИ»*

Аннотация. В статье рассмотрены типы и параметры оптических разветвителей, которые служат связующим звеном оптических кабелей при строительстве сетей связи. Проведено экспериментальное исследование спектральных характеристик сплавных (FBT) и планарных (PLC) оптических разветвителей. Результаты измерений планарных оптических разветвителей подтверждают, что их характеристики в спектральном диапазоне 1260–1660 нм соответствуют рекомендациям МСЭ-Т. Результаты экспериментов показали, что сплавные (FBT) оптические разветвители при определённых параметрах конструкций также соответствуют рекомендациям МСЭ-Т и могут применяться в системах со спектральным уплотнением типа CWDM, DWDM и при строительстве пассивных оптических сетей PON.

Ключевые слова: оптические сети связи, оптическое волокно, оптические разветвители, сплавные (FBT) оптические разветвители, пассивные оптические сети PON, системы спектрального уплотнения каналов, спектральные характеристики оптических разветвителей.

Abstract. The article deals with the types and parameters of optical fiber splitters which serve as a connecting link for optical cables when the telecom networks are built. An experimental investigation of spectral characteristics of FBT (Fused Biconical Taper) and PLC (Planar Lightwave Circuit) splitters was carried out. The measurement results of planar optical splitters confirm that their characteristics in the 1260–1660 nm spectral range correspond to the recommendations of the International Telecommunication Union (ITU). The test results prove that FBT type splitters with certain design parameters also correspond to the ITU recommendations and can be used in wavelength multiplex systems of CWDM, DWDM type and for the construction of passive optical networks (PON).

Key words: optical telecommunication networks; optical fiber; optical splitters; fusion (FBT) optical splitters; passive optical networks (PON); wavelength multiplex systems; spectral characteristics of optical splitters.

Материал поступил в редакцию 5.10.2020
E-mail: p.bazakutsa@optel.ru , maboev@mail.ru, Nikitin.Andrey.7@yandex.ru

Сеть связи, построенная на использовании оптических кабелей, создаётся путём специальных соединений различных типов кабелей. На сегодняшний день оптические кабели связи являются одними из самых востребованных сред для передачи данных [1]. При организации сетей связи для того, чтобы рационально использовать линии связи и не прокладывать на большие расстояния от источника сигналов до абонентов отдельные оптические кабели, применяют оптические разветвители, которые выполняют функцию распределения мощности оптического сигнала между абонентами (рис. 1).

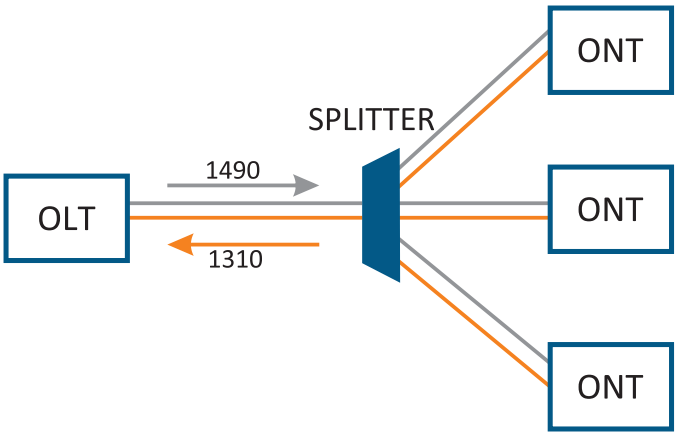

Рис. 1. Принципиальная схема пассивной оптической сети PON

Смысл технологии PON (Passive Optical Network) заключается в том, что между приёмопередающим коммутатором сигнала OLT (Optical Line Terminal) и сетевым терминалом абонента ONT (Optical Network Terminal) расположена полностью пассивная оптическая сеть PON, включающая в себя оптические разветвители (SPLITTER) – устройства, служащие для разделения мощности оптических сигналов, не требующие питания и обслуживания [2, 3].

Для передачи прямого и обратного сигналов в сетях PON используют длины волны 1490 и 1310 нм с использованием протокола множественного доступа с временным разделением TDMA (Time Division Multiple Access) [4].

Глобальное развёртывание сетей PON обусловлено растущими потребностями в увеличении пропускной способности за счёт высокоскоростного интернет-трафика, что требует расширения возможностей передачи данных.

В настоящее время для увеличения пропускной способности сетей применяют мультиплексирование сигналов на разных длинах волн с помощью мультиплексоров (MUX) и демультиплексоров (DEMUX) – устройств, которые разделяют или объединяют сигналы на разных длинах волн из нескольких оптических волокон в одно волокно или наоборот, соответственно, как и в новых спецификациях сети PON, а именно NG-PON2 (рис. 2), так и в системах связи со спектральным уплотнением каналов (рис. 3) типа CWDM, DWDM, а также гибридных сетях связи PON-CWDM (рис. 4) [5, 6].

Для оптимизации архитектуры сетей связи с применением мультиплексирования целесообразно применять оптические разветвители не только непосредственно перед абонентами, как, например, в гибридных сетях PON-CWDM, но и между самими мультиплексорами, как в сетях NG-PON2. Для этого необходимо обеспечить максимальную независимость заданного коэффициента деления мощности от длины волны сигнала в оптических разветвителях.

На сегодняшний день можно выделить две основные технологии изготовления оптических разветвителей: планарные оптические разветвители PLC (Planar Light Circuits) и сплавные оптические разветвители FBT (Fused Biconical Taper).

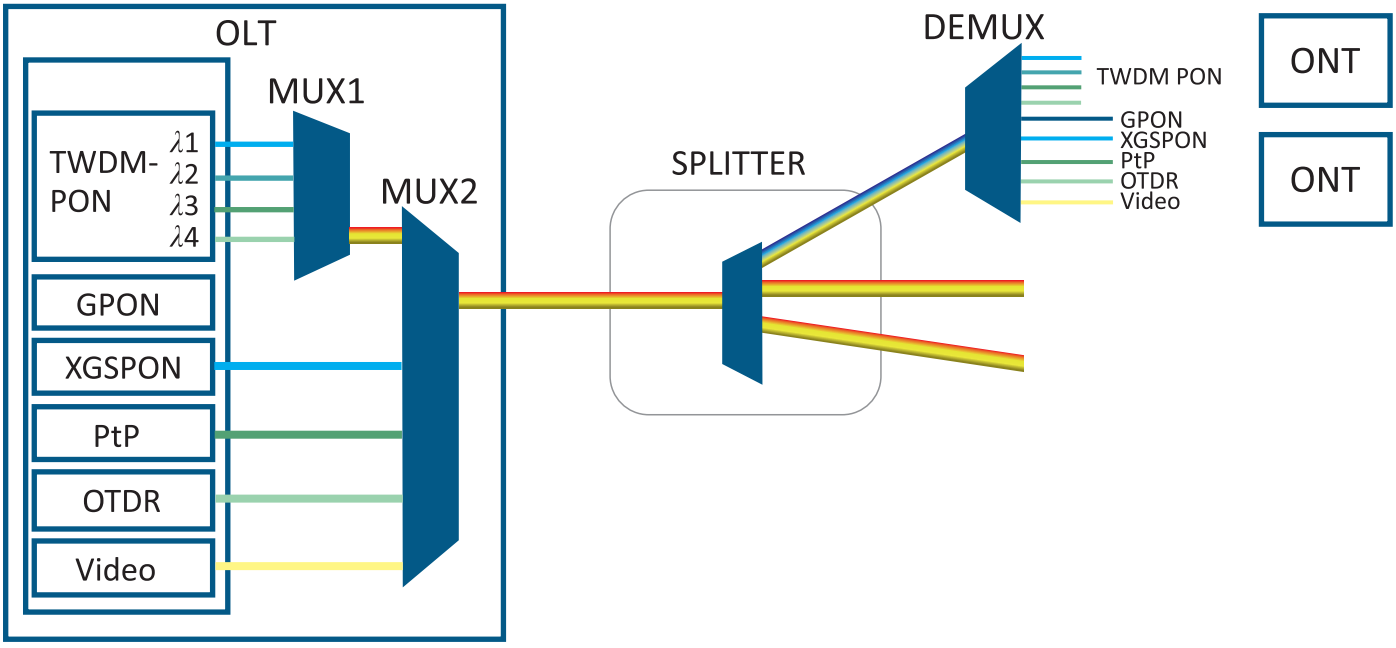

Рис. 2. Принципиальная схема пассивной оптической сети NG-PON2. Источник: http://www.auxora.com

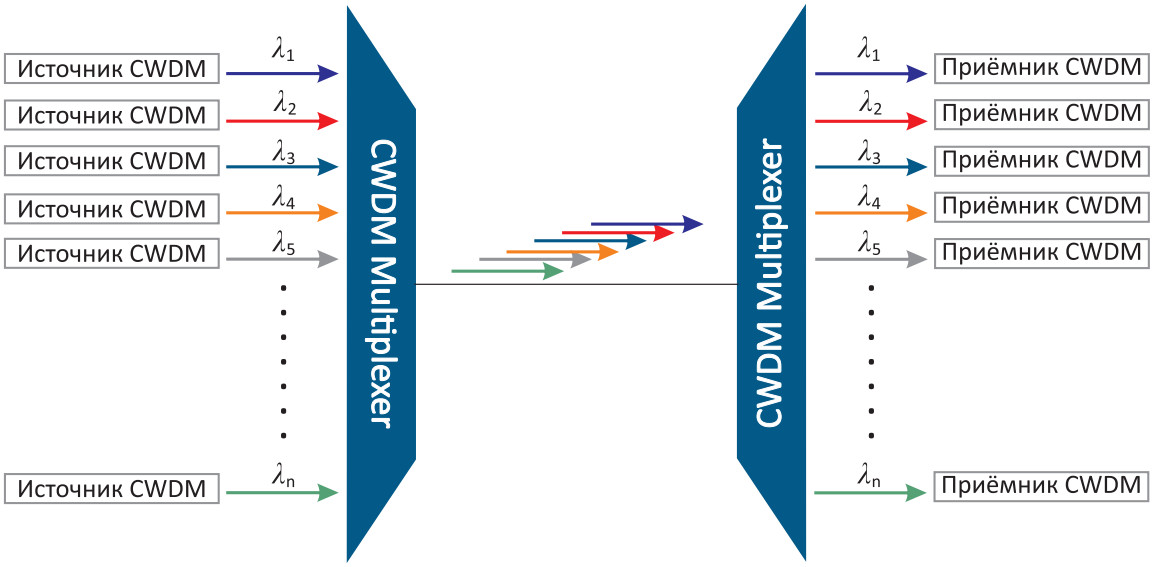

Рис. 3. Принципиальная схема системы CWDM. Источник: https://modultech.ru

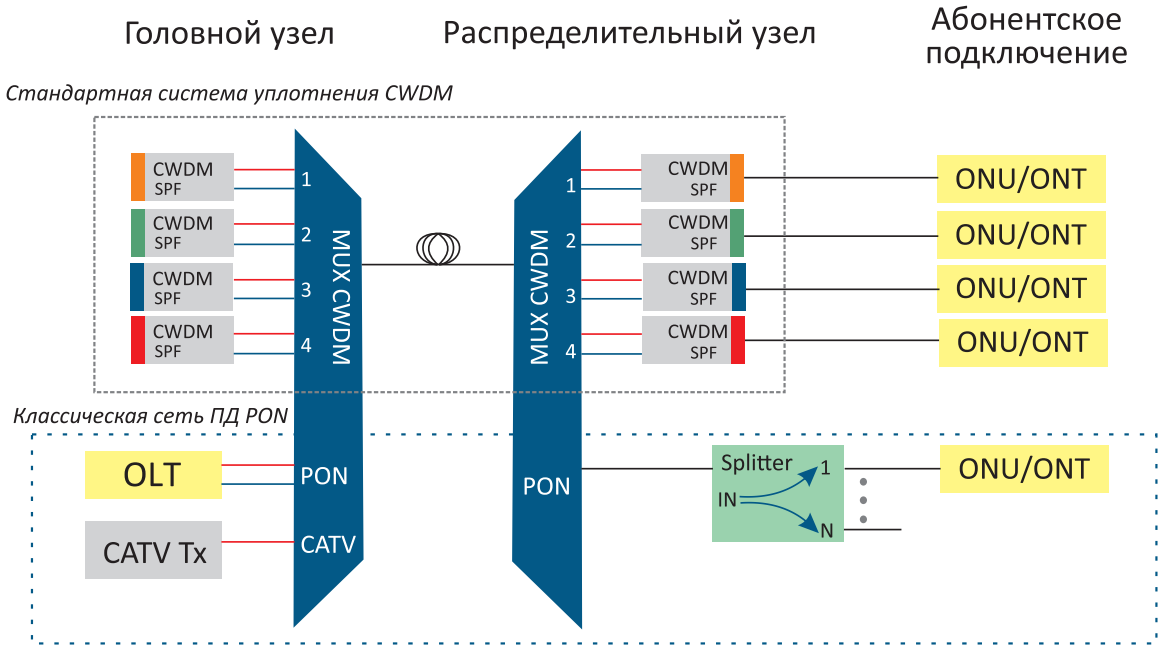

Рис. 4. Принципиальная схема гибридной системы PON-CWDM. Источник: http://www.prointech.ru

Технология изготовления планарных (PLC) разветвителей заключается в производстве чипов на основе интегрально-оптических микросхем, в которых с использованием методов фотолитографии, напыления материалов или ионного обмена, создают канальные световоды, разделяющие или объединяющие распространяющееся по ним оптическое излучение, а также в прецизионной юстировке и заклейке оптических волокон, которые представляют собой волоконные сборки, с чипом (рис. 5). За счёт высокой прозрачности клея, скрепляющего волоконные сборки с чипом, вносимое затухание на стыках не превышает 0,8 дБ [7].

Технология изготовления сплавных (FBT) оптических разветвителей представляет собой сплавление боковыми поверхностями оптических волокон при вытягивании и нагреве, например, пламенем водородной горелки [8]. Процесс изготовления осуществляется с постоянной подачей оптической мощности на вход будущего разветвителя и контролем оптических мощностей в выходных плечах изготавливаемого разветвителя. По достижении необходимого деления мощности между

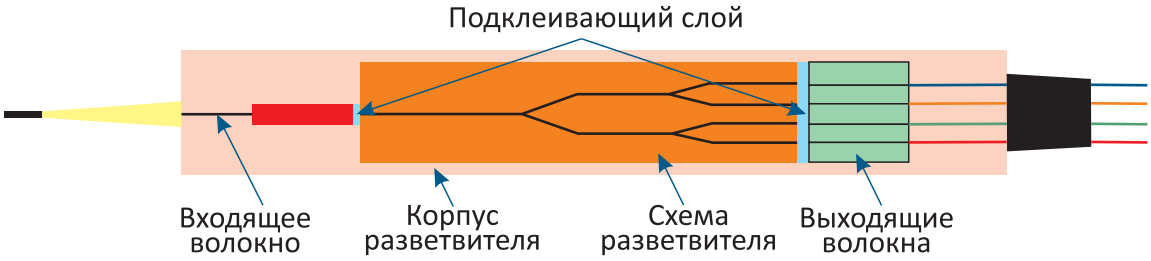

Рис. 5. Схема изготовления планарного (PLC) оптического разветвителя с конфигурацией деления 1×4

выходными плечами сплавного (FBT) оптического разветвителя, процесс останавливается (рис. 6).

Для применения в активно развивающихся сетях связи с применением мультиплексирования оптические разветвители должны соответствовать Рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) G.671 [9].

В сетях связи с применением мультиплексирования, важнейшим требованием, предъявляемым к оптическим разветвителям, является: обеспечение заданного коэффициента деления между выходными плечами с допустимым отклонением 0,4 дБ от заданного значения и величины вносимого затухания не более 0,8 дБ в пределах всего рабочего спектрального диапазона 1260–1660 нм [9, 10].

Наиболее широкий рабочий спектральный диапазон используют в сети связи со спектральным уплотнением каналов типа CWDM. В совокупности все диапазоны охватывают область от 1270 до 1610 нм, в которой располагаются 18 каналов с шагом 20 нм [11].

В настоящее время при строительстве сетей связи с мультиплексированием используют планарные (PLC) оптические разветвители, которые, как правило, имеют равномерное по всем выходным плечам деление оптической мощности в пределах рабочего спектрального диапазона 1270–1610 нм.

Для оптимального же деления оптической мощности в древовидных сетях целесообразно применять разветвители и с дробным делением оптической мощности. Дробное же деление мощности легче и дешевле обеспечить в сплавных (FBT) оптических разветвителях [9]. Однако они, как правило, обеспечивают заданный коэффициент деления мощности между выходными плечами только на одной или двух длинах волн с шириной полосы ±15 нм. Сплавные (FBT) оптические разветвители также обладают меньшим вносимым затуханием по сравнению с планарными.

На рис. 7 представлены осцилляции интенсивности оптического излучения на длинах волн 1310 и 1550 нм в процессе сплавления вытягиваемых оптических волокон [12].

На рис. 7 видно, что, если остановить процесс изготовления в точке А, то сплавной (FBT) оптический разветвитель будет иметь коэффициент деления мощности на длине волны 1550 нм 50/50 %, а на длине волны 1310 нм примерно 25/75 %, в точке В – на длине волны 1310 нм 50/50 %, а на длине волны 1550 нм – примерно 90/10 %. В точке С – заканчива-

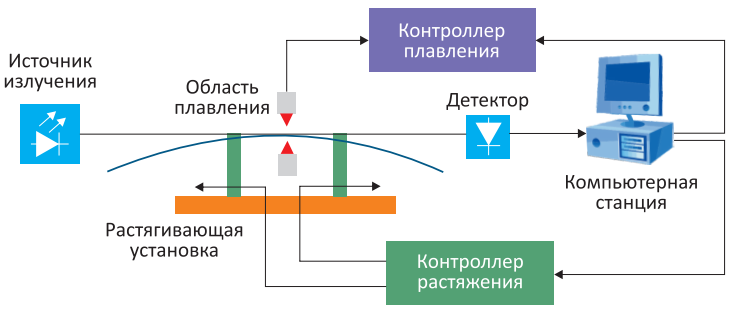

Рис. 6. Технология изготовления сплавного (FBT) оптического разветвителя с конфигурацией деления 1×2

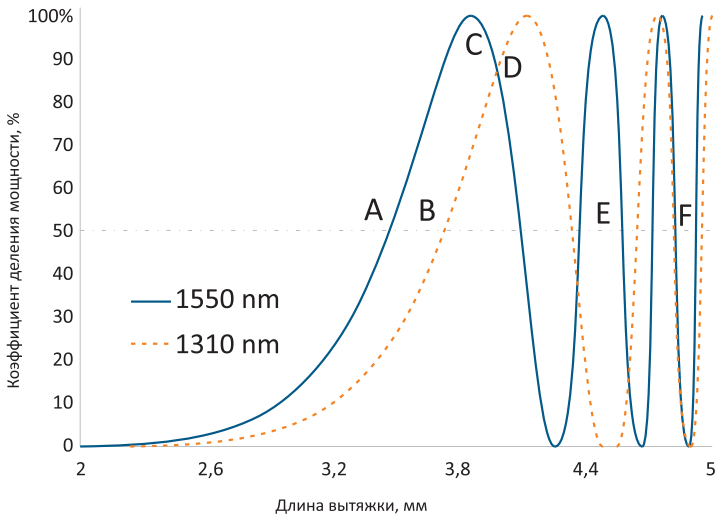

Рис. 7. Осцилляции интенсивности оптического излучения

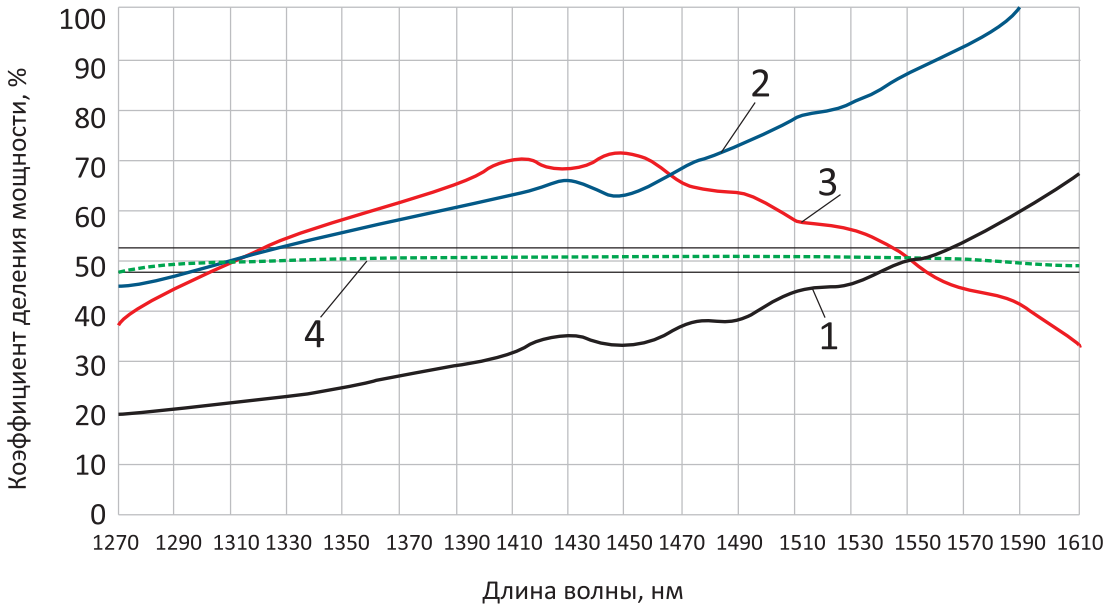

Рис. 8. Спектральные характеристики оптических разветвителей: 1 – FBT 50/50 % 1550 нм; 2 – FBT 50/50 % 1310 нм; 3 – FBT 50/50 % 1310 и 1550 нм; 4 – PLC

ется первая осцилляция интенсивности оптического излучения на длине волны 1550 нм, что означает 100-процентную перекачку мощности оптического излучения в соседнее оптическое волокно, в точке D на обеих длинах волн обеспечивается коэффициент деления мощности 90/10 %, в точке E наблюдается 100-процентная перекачка мощности на длине волны 1550 нм в соседнее волокно, однако полностью отсутствует перекачка мощности в соседнее волокно на длине волны 1310 нм, в точке F – коэффициент деления 50/50 % на обеих длинах волн.

Стоит отметить, что чем больше осцилляций оптического излучения в процессе изготовления сплавных (FBT) оптических разветвителей, тем меньше спектральный диапазон, в котором будет обеспечиваться заданное деление мощности.

Для оценки возможности применения в сетях связи со спектральным уплотнением каналов были отобраны серийно изготавливаемые в ООО «ОПТЕЛ» и поставляемые на рынок другими производителями сплавные (FBT) оптические разветвители 1×2 с делением мощности 50/50 %.

На рис. 8 представлены спектральные характеристики сплавных (FBT) оптических разветвителей характерные точкам A, B и F, а также планарного (PLC) оптического разветвителя.

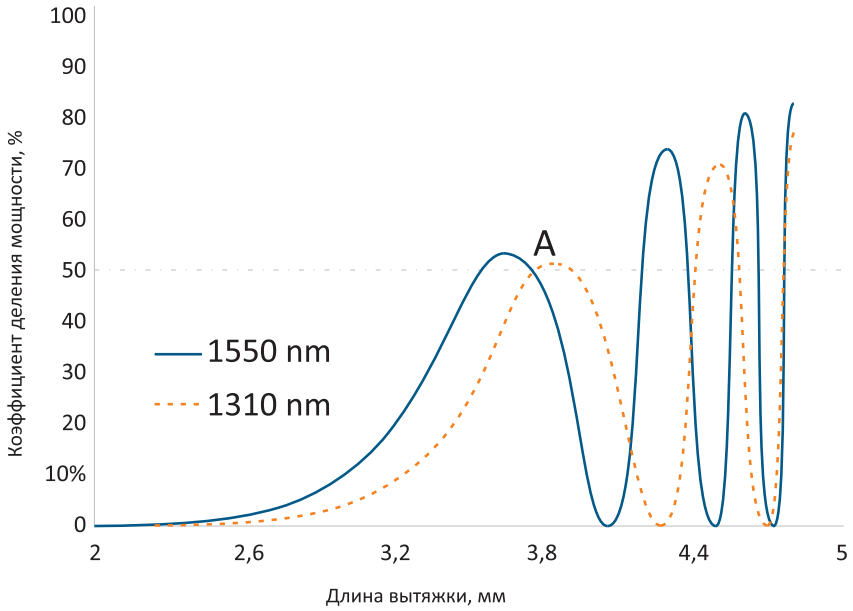

Рис. 9. Осцилляции интенсивности оптического излучения при уменьшении диаметра одного из сплавляемых волокон

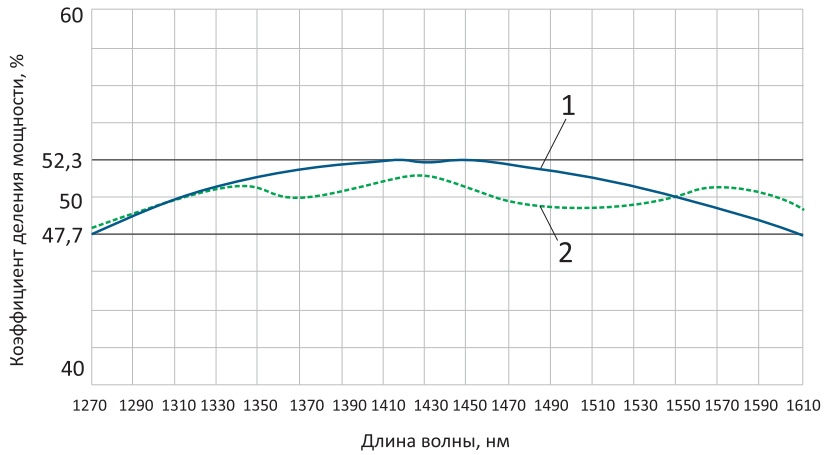

Рис. 10. Спектральные характеристики оптических разветвителей: 1 – FBT 50/50 % 1270 – 1610 нм; 2 – PLC

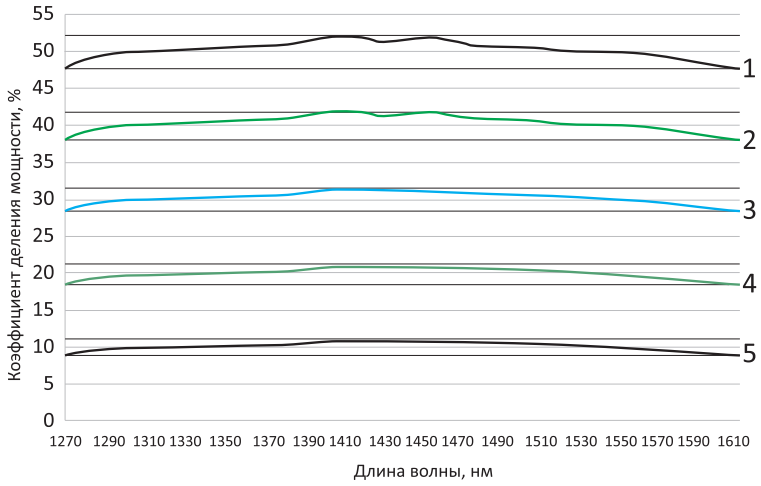

Рис. 11. Спектральные характеристики сплавных (FBT) оптических разветвителей с дробным делением мощности: 1 – FBT 50/50 %; 2 – FBT 40/60 %; 3 – FBT 30/70 %; 4 – FBT 20/80 %; 5 – FBT 10/90 %

Красными прямыми выделен диапазон, в пределах которого должна располагаться спектральная характеристика оптического разветвителя для возможности его применения в сетях связи со спектральным уплотнением каналов в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.671, как, например, спектральная характеристика 4, соответствующая планарному (PLC) оптическому разветвителю. Спектральные характеристики 1, 2 и 3, соответствующие сплавным (FBT) оптическим разветвителям, имеющим диапазон равномерности деления мощности всего ± 15 нм, нельзя использовать в сетях связи со спектральным уплотнением каналов.

Максимальное значение перекачки мощности в соседнее волокно зависит от длины участка сплавления, разницы между диаметрами сплавляемых оптических волокон.

Для того, чтобы ограничить максимальную перекачку мощности в соседнее оптическое волокно необходимо уменьшить диаметр одного из оптических волокон, например, травлением или предварительной вытяжкой.

В процессе исследования были подтверждены данные факты, а также проведены исследования спектральных характеристик сплавных (FBT) оптических разветвителей, в процессе изготовления которых, диаметр одного из оптических волокон был уменьшен с помощью его предварительной вытяжки.

Таблица

Параметры передачи оптических разветвителей

Параметр	Сплавной (FBT)	Планарный (PLC)	Рекомендация МСЭ-Т G.671
Вносимое затухание, не более дБ	0,2	0,8	0,8
Равномерность деления мощности между выходными плечами, не более дБ	0,4	0,3	0,4
Спектральный диапазон рабочих длин волн, нм	1310 ± 15, 1550 ± 15, 1310 и 1550 ± 15, 1270–1610	1260–1650	1260–1660
Коэффициент деления	Любой (например, 20/80 %, 30/70 %)	50/50 %	Не регламентируется

На рис. 9 представлены осцилляции интенсивности оптического излучения в процессе сплавления и вытяжки оптических волокон на длинах волн 1310 и 1550 нм, у одного из которых уменьшен диаметр [12].

Таким образом, на первой осцилляции длины волны 1310 нм в точке А стало возможным добиться коэффициента деления 50/50 % и на длине волны 1550 нм.

В результате равного деления мощности между выходными плечами на обеих длинах волн на первой осцилляции оптического излучения обеспечивается заданный коэффициент деления в спектральном диапазоне 1270–1610 нм, что показано на рис. 10.

Однако главным преимуществом сплавных оптических разветвителей перед планарными является возможность неравномерного деления мощности между выходными плечами при обеспечении допустимого отклонения от заданного коэффициента деления во всем рабочем спектральном диапазоне систем CWDM [9]. На рис. 11 представлены спектральные характеристики сплавных (FBT) оптических разветвителей с дробным делением мощности, изготовленных по описанной технологии.

Сплавные (FBT) оптические разветвители, соответствующие спектральным характеристикам 1, 2, 3, 4, 5 могут быть использованы в активно развивающихся сетях связи со спектральным уплотнением каналов.

В таблице представлено сравнение параметров передачи сплавных (FBT) и планарных (PLC) оптических разветвителей и параметры передачи, рекомендованные МСЭ-Т G.671.

Таким образом, в результате исследований, проведённых с целью совершенствования сплавных (FBT) оптических разветвителей, созданы конструкции, обеспечивающие равномерность деления мощности между ответвлениями FBT в диапазоне длин волн 1270–1610 нм. Показано, что по значению вносимого затухания сплавные разветвители типа FBT заметно превосходят оптические разветвители типа PLC.

Сплавные оптические разветвители, модифицированные путём настройки технологии и соответствующем контроле спектральных параметров передачи, возможно и целесообразно применять в оптических системах со спектральным уплотнением.

Список литературы

1. **Никитин А.И., Боев М.А.** Влияние температуры на затухание в сплавных оптических разветвителях для соединения оптических кабелей // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: 25-я Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2019. – С. 342.

2. Г**орнак А.М.** Широкополосный доступ на основе PON // Технологии и средства связи. – 2009. – № 4. – С. 3–10.

3. **Меккель А.М.** Семейство технологий PON и проблемы резервирования // T-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. – 2014. – № 11. – С. 69–74.

4. Б**ашарин Г.П., Русина Н.В.** Анализ вероятностно-временных характеристик математической модели передачи восходящего потока трафика в TDMA PON // T-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. – 2014. – № 8. – С. 4–7.

5. **Ионикова Е.П., Шувалов В.П., Яковлев А.С.** Оптические сети доступа большого радиуса действия (LONG-REACH PON). Решения DISCUS // T-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. – 2018. – № 11. – С. 22–27.

6. **Ettenberger F., Mukai H., Park S. and Pfeiffer T.** Next Generation PON-Part II: Candidate Systems for Next Generation PON // IEEE Communication Magazine. – 2009. – Vol. 47, № 11. – P. 50–57.

7. **Bernard Lee.** Passive optical splitter // Benchmarking the Performance of Next Generation High Speed Access Networks. – 2015.

URL: https://senko.com/literature/Optical%20Splitter%20Whitepaper_02.pdf (дата обращения: 02.02.2020).

8. **Никитин А.И., Боев М.А.** Технология изготовления сплавных оптических разветвителей // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники: материалы 22-й Всероссийской молодежной научной школы-семинара. – Ульяновск: УлГТУ, 2019. – С. 39–40.

9. **Базакуца П.В., Боев М.А., Никитин А.И.** Исследование спектральных характеристик оптических разветвителей // Фотон-Экспресс. – 2019. – № 6 (158). – С. 178–179.

10. Рекомендация Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) G.671. Параметры передачи оптических компонентов и подсистем.

URL: https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671 201908-I/en (дата обращения: 10.02.2020).

11. Рекомендация Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) G.694.2 Спектральные сетки WDM систем: сетка частот CWDM.

URL:https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2200312-I/en (дата обращения: 10.02.2020).

12. **Tekippe V.J.** Passive Fiber Optic Components Made by the Fused Biconical Taper Process.

URL: https://doi.org/10.1117/12.952938 (дата обращения: 20.01.2020).