ОВ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ВОСП со сверхнизким затуханием и увеличенной эффективной площадью

А.Микилев, к.т.н., директор по маркетингу российского филиала компании OFS

УДК 621.315.21, DOI: 10.22184/2070-8963.2017.64.3.14.18

Рассмотрены основные характеристики и перспективы применения одномодовых оптических волокон со сверхнизким затуханием и увеличенной эффективной площадью для применения в наземных системах передачи со скоростью 100–400 Гбит/с.

ВВЕДЕНИЕ

Поступательное развитие волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) в развитых странах характеризуется, в частности, коммерческим развертыванием так называемых когерентных систем 100–400 Гбит/с, внедрением все более сложных принципов модуляции (16QAM, QPSK и др.), формированием "суперканалов", совершенствованием аппаратуры и оптических усилителей (эрбиевых, рамановских и др.), расширением систем DWDM до задействования совместного диапазона C+L и т.д. [1].

Прирост мирового трафика примерно на 30–50% в год уже привел к очередной волне глобального дефицита оптического волокна (ОВ), начавшегося примерно с 2015 года и длящегося по настоящее время. Годовой объем прокладываемого на мировой сети связи ОВ в 2016 году превысил цифру 450 млн км. Из этого количества большая часть (по-видимому, не менее 95%), пока приходится на стандартное одномодовое волокно, соответствующее рекомендации МСЭ-Т G.652.

Российские операторы связи в сегменте магистральной сети также ориентируются главным образом на стандартное ОВ, разновидности и эволюция развития которого были уже описаны в предыдущей статье [2]. Однако все расчеты, прогнозы

и эксперименты показывают, что при очередном переходе к скорости в канале более 100 Гбит/с и для поддержания этой скорости при передаче на дальние расстояния, при нынешней DWDM-сетке 50 ГГц, параметры стандартного волокна, даже с пониженным до 0,18 дБ/км затуханием, уже не смогут вполне соответствовать этой задаче.

В связи с ростом трафика и постепенным насыщением емкости существующих сетей на основе стандартных наземных ОВ, в последние годы наблюдается заметное возрастание интереса к группе волокон класса ULL (Ultra-Low Loss – сверхнизкое затухание), обладающих при этом свойством большей линейности за счет увеличенной так называемой эффективной площади световедущей сердцевины. Этот интерес, в частности, отразился в появлении категории рек. G.654.E, включившей "наземное" ОВ рассматриваемого класса, а до этого данная рекомендация (издания G.654.A-D) ориентирована была главным образом на трансокеанские линии.

G.654 – что нового?

Обратимся сначала к стандартам – непосредственно к рек. МСЭ-Т G.654. Предыдущая редакция этой рекомендации [3] утверждена в 2012 году, самая

последняя [4] – в 2016 году, что говорит о достаточной активности в данной сфере. Сравнение с G.652 приведено в табл.1.

Сначала отметим сходство между G.652 и G.654. Это примерно одинаковые геометрические размеры, а также значения хроматической дисперсии и ПМД, те же требования к перематке под натяжением 0,69 ГПа. Основные отличия состоят в следующем:

- значение диаметра модового поля (ДМП) нормируется для длины волны 1310 нм у G.652, в то время как для G.654 оно задается для 1550 нм (типичное значение ДМП для G.652 составляет около 10,5 мкм на 1550 нм);
- видна тенденция к увеличению ДМП для большинства ОВ G.654, а следовательно, и к увеличению так называемой "эффективной площади";
- длина волны отсечки $\lambda_{sc} \leq 1530$ нм для G.654 означает, что волокно должно быть работоспособным в диапазоне выше данной длины волны, то есть основное его предназначение – передача в системах DWDM в диапазоне волн ≥ 1530 нм. Кстати, именно поэтому ОВ данного типа относится к классу "ОВ со смещенной отсечкой" (cut-off shifted optical fiber);
- коэффициент затухания, согласно требованиям рек. G.654, также имеет тенденцию к значительному снижению, и его предельно допустимое предельное значение $\leq 0,22$ дБ/км, то есть для большинства подкатегорий G.654 идет в ногу с прогрессом, в отличие от явно устаревших норм $\leq 0,4$ дБ/км у G.652 и др.

Класс ULL – отличия и преимущества

Первые ОВ, со сверхнизким затуханием с сердцевинной из чистого (нелегированного) кварцевого стекла, были разработаны еще в середине 1980-х годов и предназначались по большей части для протяженных подводных (океанских и т.п.) ВОСП. Сдерживающим фактором для их применения на наземной сети являлась (и сегодня является) очень высокая стоимость, на порядки превышающая цену стандартного ОВ. Но, как отмечено выше, в связи со все более возрастающей нагрузкой на магистральные сети, а также с учетом перспектив появления сетей связи 5G и т.п., фактор цены волокна постепенно нивелируется в сравнении с общей стоимостью систем ≥ 100 Гбит/с /канал и общей емкостью в десятки Тбит/с.

Поскольку за последние десятилетия было создано множество типов и марок ОВ, в которых уже иногда сложно разобраться, для облегчения сегодняшней "ориентировки", здесь (на рисунке) предлагается несколько упрощенная классификация

Таблица 1. Сравнение требований рек. G.652 (2009 года) и G.654 (ред. 11/2016 года)

Характеристики ОВ		Рекомендации МСЭ-Т	
		G.652. A/B/C/D	G.654. A/B/C/D/E
Диаметр модового поля, мкм	1 310 нм	8,6–9,5	–
	1 550 нм		9,5–10,5 (A, C) 9,5–13,0 (B) 11,5–15,0 (D) 11,5–12,5 (E)
Геометрические параметры	Диаметр оболочки, мкм	125 ± 1	125 ± 1
	Неконцентричность сердцевины, мкм	≤ 0,6	≤ 0,8
	Некруглость оболочки, %	≤ 2	≤ 2
Длина волны отсечки λ_{sc} , нм		≤ 1 260	≤ 1 530
Хроматич. дисперсия	Длина волны нулевой дисперсии, нм	1 310–1 324	–
	Наклон дисп. хар-ки, пс/нм ² ·км	≤ 0,092	≤ 0,07
	Коэффициент хроматической дисперсии, пс/нм·км	–	≤ 20 (A, C); ≤ 22 (B); ≤ 23 (D, E)
Поляризационная модовая дисперсия, PMDQ, пс/√км		≤ 0,5 (A/C) ≤ 0,2 (B/D)	≤ 0,2
Коэффициент затухания, дБ/км	1 310 нм	≤ 0,5 (A); ≤ 0,4 (B/C/D)	–
	1 550 нм	≤ 0,4 (A) ≤ 0,35 (B) ≤ 0,3 (C/D)	≤ 0,22 (A/B/C) ≤ 0,20 дБ/км (D) ≤ 0,23 дБ/км (E)

современных коммерческих телекоммуникационных ОВ массового производства, в которой рассматриваемое ОВ "ULL с большой эффективной площадью" занимает правый нижний угол.

Особо отметим, что волокно класса ULL прежде всего следует отличать от ОВ класса LL (Low Loss – низкие потери). Принципиальное отличие между ними заключается в том, что ULL имеет сердцевину из чистого

кварцевого стекла без какого-либо (либо, возможно, в минимальной степени) легирования, в то время как LL по конструкции весьма близко к стандартному волокну G.652.D (подробнее см. в [2]). На длине волны 1550 нм у волокна LL коэффициент затухания очень близок к 0,18 дБ/км, в то время как у ULL этот параметр еще ниже – в пределах 0,15–0,17 дБ/км, с рекордным на сегодня значением 0,1460 дБ/км на длине волны 1560 нм [5].

С учетом того, что ОВ по отдельности (как со сверхмалым затуханием, так и с большой эффективной площадью) для океанских применений были известны и разработаны относительно давно, новым сегодня следует считать именно сочетание этих двух качеств наряду с оптимизацией их для применения на наземной сети с увеличенными пролетами (расстоянием между оптическими усилителями), типичной длиной около 100 км и с "безрегенерационной" дальностью передачи в несколько тысяч километров.

На рисунке не показаны достаточно давно известные ОВ, также типа ULL, но относящиеся к стандартному классу G.652. Это обусловлено только тем, что в настоящей статье внимание уделено рек. G.654 и соответствующим волокнам, как наиболее "инновационным" на данный период.

Сочетание малого затухания и большой эффективной площади предопределяет успешное применение ОВ класса ULL не только в океанских системах передачи, для которых оно раньше в основном предназначалось, но также в современных дальних и сверхдальних высокочастотных наземных когерентных ВОСП с типовой скоростью передачи 100–400 Гбит/с в одном канале DWDM. Это позволяет создавать системы передачи диапазонов C+L (1530–1625 нм) с впечатляющей пропускной способностью ≥ 30 Тбит/с и со стоимостью бита передачи в 20–60% от стоимости подобных систем на стандартном волокне [1].

TERAWave ULL – выход из океана на сушу

Одним из современных представителей промышленно выпускаемого ОВ рассматриваемого здесь типа является TeraWave ULL [6], соответствующее рек. G.654.B. Это ОВ исторически выделилось из группы "океанских" ОВ семейства TeraWave (просьба не путать с созвучной маркой – True Wave, G.655!) и теперь предназначено уже для наземных систем передачи данных следующих поколений. Характеристики TeraWave ULL приведены в табл.2.

НЕ БУДЕМ ЗАБЫВАТЬ О СВАРИВАЕМОСТИ

Внедрение каждого нового типа одномодового волокна часто сталкивается с проблемой совместимости с "уже установленной базой" одномодового ОВ на сети. Касательно TeraWave ULL выяснено, что среднестатистические потери при сварке одинаковых ОВ этого типа оставляют около 0,04 дБ, то есть находятся примерно на том же уровне, что и у стандартных ОВ. Однако при сварке TeraWave ULL (и любого подобного ему волокна) с типичным G.652 неизбежно возникают некоторые сложности, которые хоть и не являются непреодолимыми, но потребуют дополнительного внимания со стороны монтажников. В частности, более сложная конструкция сердцевин и увеличенный ДМП у ОВ класса ULL могут привести к необходимости отказа от центрирования по сердцевине и потребует центрирования по оболочке для автоматических сварочных аппаратов. Следующей особенностью будут заметные хорошо знакомые ступени на рефлектограммах [7] в месте стыковки в случае сварки со стандартным волокном – порядка (1,5)/(-1,0) дБ, в зависимости от направления, при усредненном по двум направлениям затухании около 0,15 дБ [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развертывание ВОСП для передачи ≥ 100 –400 Гбит/с/канал связано с внедрением новых технологий передачи, более сложных форматов модуляции, разнообразных конфигураций аппаратуры когерентной

Таблица 2. Параметры оптического волокна TeraWave ULL

Характеристики ОВ↓	Тип волокна	Соотв. рек. МСЭ-Т
	TeraWave ULL	G.654.B
	Параметр	Значение
Геометрические характеристики	Диаметр оболочки	125,0 ± 0,7 мкм
	Некруглость оболочки	≤ 0,7%
	Неконцентричность сердцевины	≤ 0,8 мкм
	Диаметр защитного покрытия	245 ± 5 мкм
Затухание	Коэффициент затухания, 1 550 нм	≤ 0,17 дБ/км (типично 0,168 дБ/км)
	Коэффициент затухания, 1 625 нм	≤ 0,20 дБ/км
	Затухание при макроизгибах	Соответствует G.654.B
Хроматическая дисперсия	Коэффициент хроматической дисперсии, 1 550 нм	≤ 22 пс/нм·км
	Наклон дисперсионной характеристики, 1 550 нм	≤ 0,070 пс/нм ² ·км
Диаметр модового поля, эффективная площадь, длина волны отсечки	Диаметр модового поля, 1 550 нм	12,4 ± 0,5 мкм
	Эффективная площадь, 1 550 нм	125 мкм ²
	Длина волны отсечки в кабеле, λ _{сс}	≤ 1 520 нм
ПМД	Поляризационная модовая дисперсия (ПМД): (PMDQ) (LDV)	≤ 0,04 пс/√км
	ПМД индивидуального волокна	≤ 0,1 пс/√км
	Групповой индекс, 1 550 нм	1,465
Механическая прочность	Испытательная прочность при перемотке под натяжением	0,69 ГПа
Параметры покрытия	Сила снятия покрытия, (F _{сп})	1,0 ≤ F _{сп} ≤ 9,0 Н
Длина	Стандартная длина на катушке	50,4 км

передачи и оптического усиления. Большинство подобных технологий чрезвычайно требовательны к линейности передающей среды и, соответственно, чувствительны к нелинейности ОВ. Волокно со сверхнизким затуханием и большой эффективной площадью, отвечающее рек. G.654, несмотря на его сегодняшнюю достаточно высокую стоимость, представляется перспективным вариантом решения задачи обеспечения все возрастающей потребности в экономически эффективных сверхъёмких сетях, обеспечивающих передачу все возрастающего трафика как на мировой, так и на отечественной сети связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lingle R., McCurdy A., Balemarthy K. Benefits of TeraWave ULL Optical Fiber for Improving Capacity, Reach and Economics with Coherent Transport. www.ofs optics.com.
2. Микилев А.И. Оптические волокна стандартной группы: эволюция и перспективы // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2015. № 6. С. 34-39.
3. Рек. МСЭ-Т G.654.10/2012. Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной отсечкой.
4. Рек. МСЭ-Т G.654.11/2016. Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной отсечкой.
5. Makovej S. et al. Record-low (0.1460 dB/km) attenuation ultra-large Aeff optical fiber for submarine applications // OFC 2015, Th5A.2.
6. Одномодовое оптическое волокно TeraWave ULL. (www.ofsoptics.com: <http://fiber-optic-catalog.ofsoptics.com/Asset/TeraWave-ULL-Singlemode-Fiber-fap-162-web.pdf>).
7. Микилев А.И. Качественная сварка оптического волокна: почему мы так говорим // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2013. № 1. С. 18-23.