

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ И ВОЛОКОН

МАЙСКИЙ СЕМИНАР КОМПАНИИ CORNING В МОСКВЕ

15 мая 2007 года компания Corning, США, провела в Москве очередной семинар [1]. Его программа, кроме обзора рынка ОВ в 2006 году, включала доклад об эволюции одномодовых волокон компании Corning, обзор последних достижений в оптической связи (на конференции OFC-2007), а также инженерные проблемы использования ОВ. Как всегда, материалы семинара – это и информация из первых рук, и предмет для изучения.

РЫНОК ОВ В 2006 ГОДУ И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО РАЗВИТИЯ

В обзоре рынка ОВ Арина Корнильева (директор по маркетингу и продажам компании Corning) отметила, что по уточненным данным в 2006 году общий рынок ОВ составил 97 (а не 110 [2]) млн. км, а общий росте капиталовложений – 7% (а не 8% [2]), но был неравномерен: 17% в Южной Америке, 15% в Китае, 8% в Северной Америке, 5% в Европе и продемонстрировал спад на 7% в Японии (прогноз роста на 2007 год – 1%). При этом распределение мирового рынка ОВ было таково: сети доступа – 55%, городские сети – 30%, магистральные сети дальней связи – 10%, ЛВС – 5%.

В 2006 году было проложено 15 000 км подводного кабеля (небольшие проекты по 1000–2000 км). На 2007–2008 годы запланирован крупный тихоокеанский проект – Trans Pacific Express (TPE) от Китая до Калифорнии: длина 64-волоконного кабеля – 26 000 км, скорость передачи 10 Гбит/с. Российский оператор "Транстелеком" собирается в 2007 году построить небольшой (214 км), но важный сегмент, связывающий Сахалин с материком по дну Татарского пролива. Другой российский оператор "Ростелеком" обещал (совместно с Японией – NEC) построить в 2008 году два сегмента связи с Японией по 900 км каждый, что позволит увеличить объем передачи в этом направлении в 1000 раз.

По информации Министерства информационных технологий и связи РФ, рост капиталовложений за 2006 год составил 7,1% (отечественные) и 19,5% (иностраные), число пользователей Интернета составило 25 млн. человек, а доходы от предоставления услуг передачи данных выросли на 24%.

Общий прогноз рынка ОВ и оптического оборудования на 2007 год, по материалам компании Corning и других ведущих игроков этого рынка, тот же, что и раньше [2]. Вклад компании Corning при этом состоит:

- в полном переходе на ОВ Corning SMF-28e+NexCor;
- в использовании ОВ Corning SMF-28e XB (Extra Bend) с улучшенными изгибными характеристиками;
- в использовании ОВ Corning SMF-28 ULL со сверхнизким затуханием (среднее – 0,17 дБ/км, максимальное – 0,18 дБ/км), которое к тому же имеет минимальное значение поляризационной модовой дисперсии (ПМД) – 0,04 пс/км^{1/2};
- в поддержании полной совместимости указанных ОВ с уже проложенным SMF-28 (G.652).

РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА: ЖЕЛАНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ

Интересный обзор "Следующее поколение оптического волокна: желания и возможности" представил Клаудио Маззали

(Claudio Mazzali) – маркетинг менеджер компании Corning. Он рассмотрел сорокалетнее развитие ОВ в трех ракурсах: историческом, технологическом и прикладном.

В 1966 году ученые Као и Ноксхэм сформулировали цель – добиться затухания <20 дБ/км, а уже в 1970 году специалисты компании Corning: R.Maurer, D.Keck и P.Schultz достигли уровня затухания ОВ 17 дБ/км. 36 лет спустя (к началу 2007 года) развитие технологии ОВ позволило достичь следующих вершин:

- среднего уровня затухания ОВ – 0,17 дБ/км (стократное уменьшение);
- максимального числа оптических несущих, передаваемых в одном ОВ – 320 (увеличение в 320 раз);
- спектральной эффективности передачи (СЭ) – 3,2 бит/с/Гц [2] (рис.1а);
- суммарной ширины полосы пропускания в одном ОВ – 24 Тбит/с (увеличение в миллион раз, рис.1б).

Технологические достижения и прогресс ОВ за этот период представлены на диаграмме рис.2.

Максимальное снижение погонного затухания ОВ можно получить, используя ОВ, изготовленное по стандарту ITU-T G.654 со сдвигом длины волны отсечки в область длин волн 1460–1500 нм. Таким является волокно Vascade EX1000 компании Corning, затухание которого на 1550 нм равно 0,17 дБ/км [2], что ниже затухания стандартного (G.652) ОВ SMF-28e (0,20 дБ/км). Оно также известно как ОВ SMF 28 ULL (волокно со сверхнизким затуханием).

Роста числа несущих в одном ОВ можно достичь увеличением уровня мощности оптического сигнала, вводимого в ОВ. В лабораторных установках (Bell Labs) это число достигло 1000, а в промышленных системах заявленное число достигало 320 уже в 2002 году, хотя сейчас оно упало до разумных пределов (120–160), учитывая, что реально работающие системы используют не больше 16–32 оптических несущих. Последнее объясняется тем, что увеличение мощности на

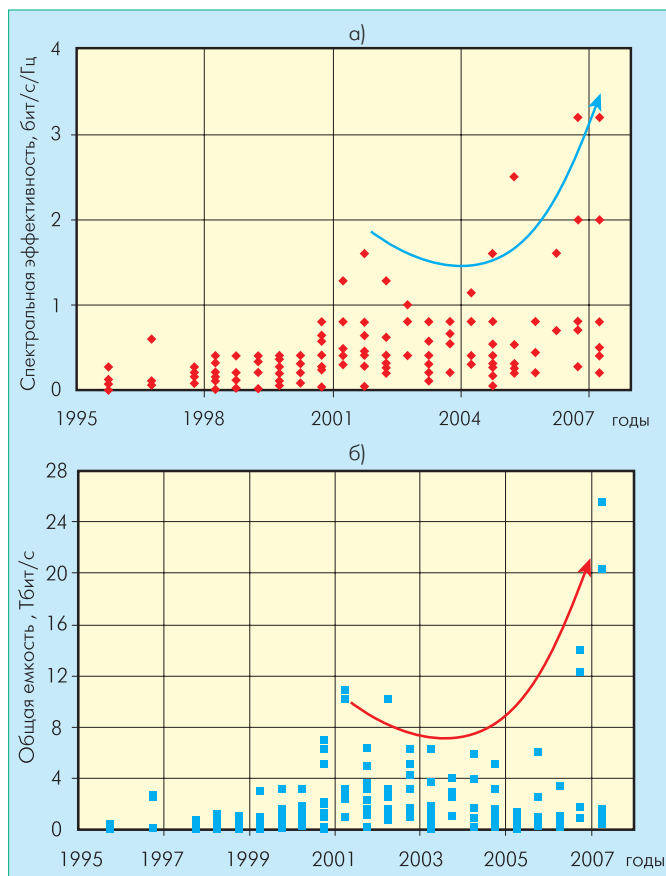


Рис.1 Прогресс уровня спектральной эффективности (1а) и общей емкости (1б) систем связи за последние 10 лет

входе ОВ ведет к увеличению известных нелинейных эффектов: вынужденное рамановское (SRS) и бриллюэновское (SBS) рассеяния, фазовая самомодуляция (SPM), перекрестная фазовая модуляция (XPM) и четырехволновое смешение (FWM) [2].

Что касается рекорда СЭ, то он был отмечен еще год назад [2], а рекорд суммарной полосы пропускания (или максимальной емкости канала передачи) за год увеличился с 15 [2] до 24 Тбит/с.

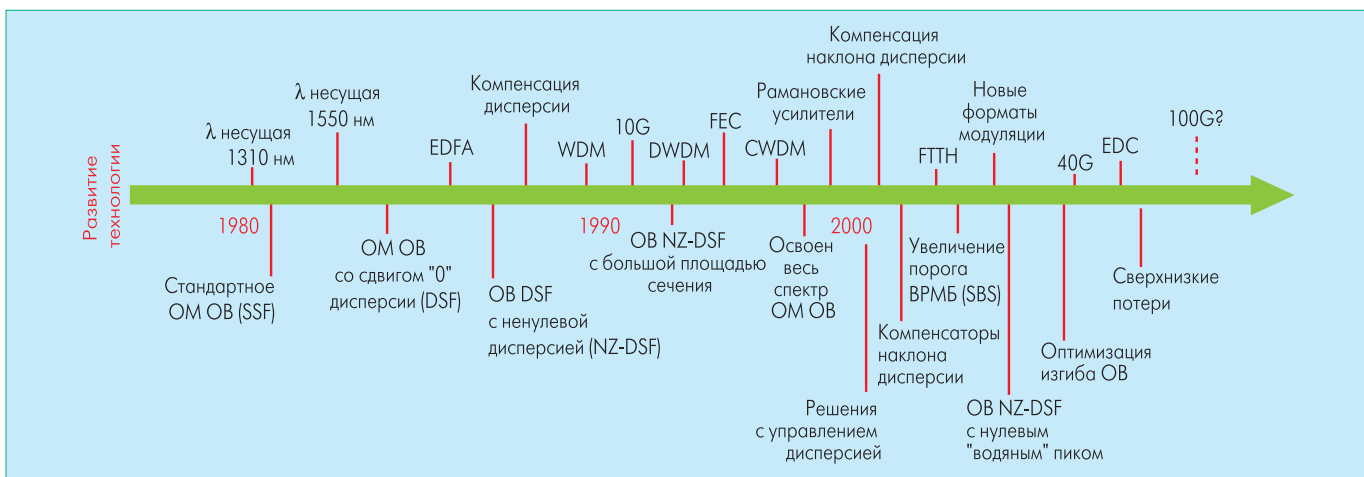


Рис.2 Технологические достижения и прогресс ОВ за 40 лет



Рис.3 Установка Corning-Nortel, реализующая 800-км регенераторную секцию

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗНЫХ ТИПОВ ОВ

Из всех этих достижений наиболее важным, пожалуй, является снижение затухания, которое широко используется для оптимизации решений при реализации практических систем связи. Так, компании Corning и Nortel продемонстрировали возможность увеличить длину стандартной регенерационной WDM-секции с пятью очень длинными стандартными пролетами класса nV5-у.2 (длина пролета 120 км) [3] с 600 км до 800 км только за счет использования нового ОВ Corning SMF-28 ULL. Оно позволяет увеличить длину пролета до 160 км (бюджет мощности равен 28 дБ), то есть фактически реализовать пролет нового класса nU5-у.2, согласно классификации стандарта [3]. Вид опытной установки показан на рис.3. Она, кроме указанного, позволяет не только увеличить стандартную длину секции до 800 км, но и оптимизирует ее за счет отказа от модулей компенсации дисперсии DCM в пользу электронной компенсации дисперсии, что дополнительно (благодаря исключению потерь, вносимых DCM) позволяет убрать и рамановский усилитель.

Сочетание известного ОВ LEAF (Corning) типа G.655 (рис.4а) вместе с электронной компенсацией дисперсии (EDC), используемой вместо модулей компенсации дисперсии DCM, и оптимизируемыми модуляционными форматами позволяет также существенно увеличить (до 1200 км по сравнению с 600/300 км, реализуемыми на G.656 и G.652, соответственно) длину однопролетной регенерационной секции (рис.4б). Эти результаты подтверждаются и другими экспериментами [4], длина однопролетной секции в которых достигала 1500 км.

При наличии выбора типов ОВ допустимо проводить оптимизацию интегральных характеристик ОВ на длине пролета путем использования комбинации различных типов ОВ. Так, можно максимизировать характеристики ОВ на длине пролета, используя следующие сочетания типов ОВ:

- ОВ с малым наклоном D и ОВ с большой эффективной площадью сечения сердцевин A_{eff} ;

- ОВ с положительными D и наклоном D (S) и ОВ с отрицательными D и наклоном D (S) (+D/+S – -D/-S);
- ОВ с высоким порогом SBS и ОВ со сверхнизкими потерями.

При использовании первого типа сочетаний (D с малым S – большое A_{eff}) интегральные характеристики зависят от процентного соотношения длин используемых типов ОВ (рис.5). Близкий к оптимуму вариант достигается при соотношении длин 50/50%, например для пролета длиной 100 км, наклоном D – 0,085 пс/нм²/км и A_{eff} =69 мкм² (первым должно быть волокно с большим A_{eff}).

Второй тип сочетаний (+D/+S – -D/-S) используется уже достаточно широко и дает возможность компенсировать накопленную дисперсию в достаточно широком диапазоне длин волн, если ОВ с +D/+S и -D/-S подобраны достаточно точно. Чередования ОВ с "+" и "-" идут на уровне строительных длин.

Третий тип сочетаний (высокий порог SBS – низкие потери) позволяет получить непрерывающийся спектр SBS-усиления обоих типов волокон (рис.6б). В качестве пары ОВ могут быть использованы: SMF-28e+ или NexCor и SMF-28 ULL. Рис.6а показывает, что уровень порога уменьшается по длине ОВ, но разница между ОВ в выбранной паре остается примерно постоянной и равной 3 дБм.

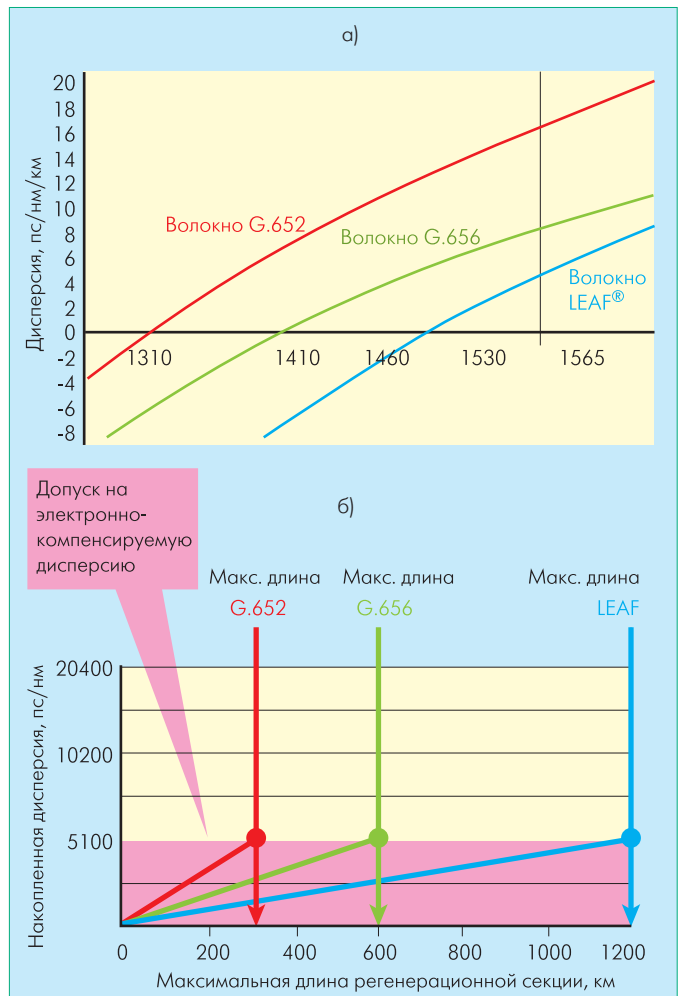


Рис.4 Максимально достижимая длина однопролетной секции с EDC

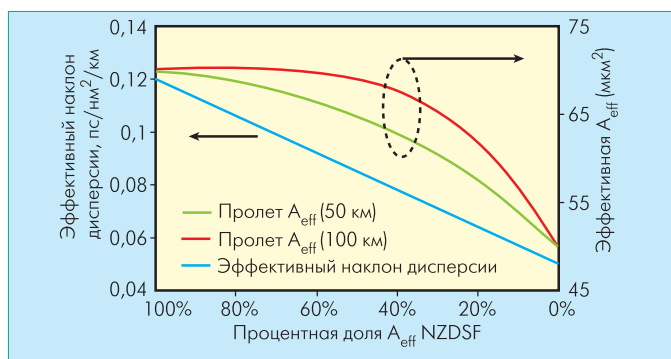


Рис. 5 Оптимизация решений при использовании комбинации ОВ: с малым наклоном D – большим A_{eff}

РАЗВИТИЕ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ НА БАЗЕ FTTH

Прогресс в использовании ОВ для реализации технологии волокна в дом FTTH рассматривается практически на каждом семинаре компании Corning [2]. Вторую часть своего обзора К.Маззали также посвятил этому вопросу. Согласно данным статистики, число пользователей технологии FTTH составило 267 млн., а к 2011 году оно, вероятно, возрастет до 478 млн. [1]. При этом каждому пользователю потребуется более 30 Мбит/с (другие специалисты говорят о 50 Мбит/с) полосы для обеспечения широкополосного сервиса (см. таблицу).

Что касается малого и среднего бизнеса, то его потребности в широкой полосе лежат в пределах 50–100 Мбит/с (поток к офису), причем статистика, приведенная ниже (доля сервиса/рост в %), показывает рост спроса только на сервис, обслуживаемый xDSL (30/2%), кабельными модемами (CM) (27/13%) и PON (4/15%). Что касается последнего, то он готов

Тип сервиса	Полоса (BW)	К пользователю	От пользователя
2×HDTV (MPEG4)	2×8,0 Мбит/с	16,0 Мбит/с	100 кбит/с
2×SDTV	2×2,0 Мбит/с	4,0 Мбит/с	100 кбит/с
Видео/аудио по требованию	3,0 Мбит/с	3,0 Мбит/с	100 кбит/с
Цифровой телефон	64 кбит/с	100 кбит/с	100 кбит/с
Домашний офис	10 Мбит/с	10,0 Мбит/с	5,0 Мбит/с
Итого:		33,1 Мбит/с	5,4 Мбит/с

предоставить пользователю входящий поток 18 (BPON), 28 (EPON) 36/72 (GPON) Мбайт/с. В этом ряду последней и наиболее перспективной (как и наиболее дорогой) является технология WDM PON, которая позволяет индивидуально выделить пользователю одну несущую для передачи (минимально) потока 100 Мбит/с быстрого Ethernet. Конкуренцию ей в перспективе может создать только 10GEPON, разрабатываемый сегодня.

Тенденции развития волоконно-оптической связи по материалам конференции OFC 2007: спектральное уплотнение в PON – такой теме посвятил свое выступление технический директор С.Г.Акопов, по сути, подводя итоги презентации К.Маззали в части WDM PON. Он также традиционно осветил инженерные вопросы практического использования различных типов оптических волокон компании Corning.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие технологий оптической связи и волокон: Материалы семинара Corning. – Москва, 15 мая 2007.
2. Н.Слепов. Развитие технологий оптической связи и волокон: Семинар компании Corning – 19.12.06. – Фотоника, №2, 2007, с.6–9.
3. ITU-T G.692 – Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers (10.98); Corrigendum (1.00;6.02); Amendment (1.05).
4. Downie J.D. et al. 1500 km transmission over NZ-DSF without in-line or post-compensation of dispersion for 38×10.7 Gbit/c channels. – Electronics Letters, 2006, Vol.42, No.11.

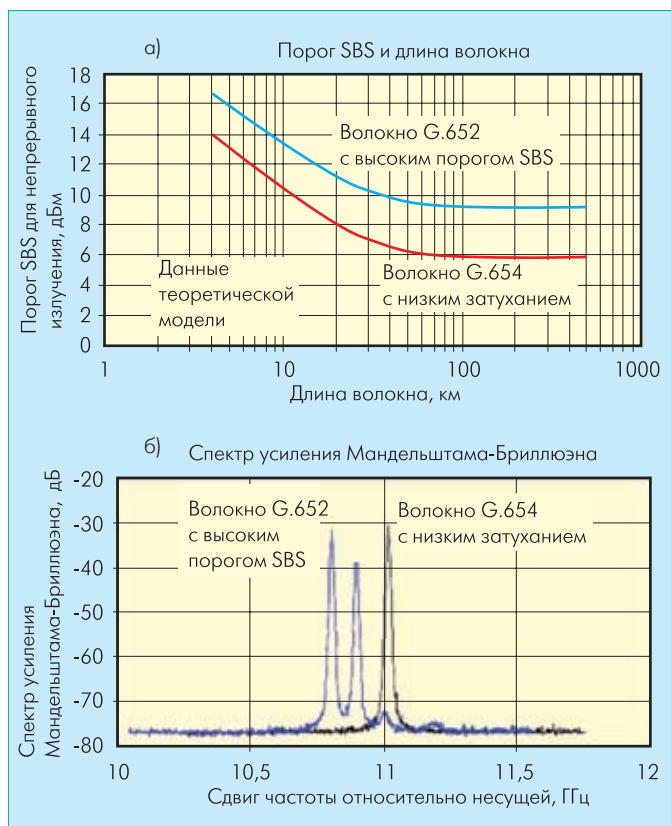


Рис. 6 Оптимизация решений при использовании комбинации ОВ: высокий порог SBS – низкие потери