

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ И ВОЛОКОН

СЕМИНАР КОМПАНИИ CORNING – 19.12.06

Н.Слепов
nslepov@online.ru

19 декабря 2006 года компания Corning, США, провела в Москве очередной семинар [1]. Его программа, кроме обзора состояния рынка ОВ в 2006 г., включала два обзора о последних достижениях в области оптической связи (по материалам ECOC, сентябрь 2006 года), отчет рабочей группы IEEE 802.3 о разработке 100-гигабитного Ethernet и доклад об эволюции ОМ-волокон компании Corning и статистике обрывов при их использовании. Материалы семинара – свежая информация из первых рук и предмет для детального изучения.

СОСТОЯНИЕ РЫНКА ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО РАЗВИТИЯ

В обзоре состояния рынка ОВ Арина Корнильева (директор по маркетингу и продажам компании Corning) отметила, что в 2006 году потребление ОВросло и достигло уровня 110 млн. км. Рост обусловлен как увеличением капиталовложений за год почти на 8%, так и возрастанием общего числа абонентов сети Интернет на 11% и абонентов широкополосного (ШП) доступа (42%), общее число которых составляет только в США и Японии 106 млн. (84 и 22 млн., соответственно). При этом цены на ОВ сохраняются стабильными с 2004 года.

Производственные мощности, как и раньше, загружены не полностью. Избыточные мощности в 2005 году были 57%, а в 2006 – 50%. Они создают некий запас прочности будущего развития.

Спрос на ОВ в 2006 году в странах EMEA вырос на 14 млн. км (13%), а в странах СНГ на 2,2 млн. км (15%). Анализ показывает, что рост спроса обусловлен ростом потребности альтернативных операторов связи, оказывающих услуги ШП-доступа (волоконно в дом и офис – FTTH и FTTx).

Общий прогноз рынка ОВ и оптического оборудования на 2007 год по материалам компании Corning и других ведущих игроков этого рынка, как и раньше, таков:

- рост рынка будет определяться развитием сетей доступа;
- основной рост спроса ожидается на аксессуары и оборудование, меньший спрос – на оптические кабели;
- продолжится стабилизация цен на ОВ.

Общий объем рынка услуг в этом секторе – 170 млрд. долл. в Европе (400 млн. человек), 16 млрд. долл. в России (140 млн. человек), хотя динамика роста рынка в РФ выше.

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ БЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНОГО УСИЛЕНИЯ

Сергей Тен (руководитель лаборатории систем связи компании Corning) представил два доклада. Первый – “Пределы увеличения расстояния высокоскоростной передачи без промежуточного усиления”.

Системы передачи без промежуточного усиления исторически были первыми ВОЛС. Они не имели линейных усилителей (ЛУ), однако имели мощные выходные (или бустерные)

оптические усилители (МУ) на передающей стороне и предварительные усилители (ПУ) на приемной стороне [2]. Такие системы передачи были характерны для локальных сетей (ЛС), сетей доступа, городских сетей и подводных прибрежных (или фестонных) сетей связи.

Перечисляя факторы, влияющие на достижение предельных расстояний без использования ЛУ, С.Тен отметил:

- чувствительность приемников;
- наличие упреждающей коррекции ошибок (FEC);
- использование рамановских усилителей;
- нелинейность ОВ;
- затухание ОВ.

Чувствительность приемников обычно определяется потерями бюджета мощности передатчика: потерями в волокне и на компонентах, запаса на ремонт и системного запаса, требующего обеспечить определенное отношение сигнал/шум, соответствующее уровню BER не хуже 10^{-9} . Если рассмотреть, например, одну из фестонных систем Карибского бассейна длиной 232 км, то ее общие потери составят примерно 52 дБ (46,4 дБ в ОВ – 0,20 дБ/км; 2,5 дБ на сростках; 1 дБ на разъемах и 2 дБ на ремонт). При достаточно хорошем приемнике (-35 дБм) и высоком уровне вводимой мощности (17 дБм) получаем, что системный запас равен нулю.

Можно улучшить ситуацию:

- повысив чувствительность приемника (можно поэкспериментировать с уровнем);
- используя FEC, что поможет, но внесет информационную избыточность;
- используя рамановский усилитель – поможет до определенной степени;
- уменьшив потери в ОВ и компонентах (но они и так близки к предельным);
- увеличив мощность, вводимую в ОВ (но возникнут проблемы с нелинейностью).

Рассмотрим возможности каждого из этих предложений.

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНИКА

Описываемые системы используют обычно два типа приемников: PIN-фотодиоды (PIN-PD) и лавинные фотодиоды (APD). Первые – работают на фотоэлектронах, образующихся в I-области, и не имеют ограничений из-за тепловых или дробовых шумов; хорошо работают в паре PIN-PD–EDFA (оптический усилитель, ОУ). Вторые – имеют зону лавинного размножения фотоэлектронов, позволяют реализовать большую чувствительность, чем PIN-PD (на скорости 10 Гбит/с разница составляет уже 10 дБм, рис.1), но APD стоят в три раза дороже. Из рис.1 видно, что пара PIN-PD–EDFA позволяет реализовать чувствительность -37/-29 дБм на скоростях 10/40 Гбит/с, соответственно, при $BER=10^{-9}$ на входе приемника.

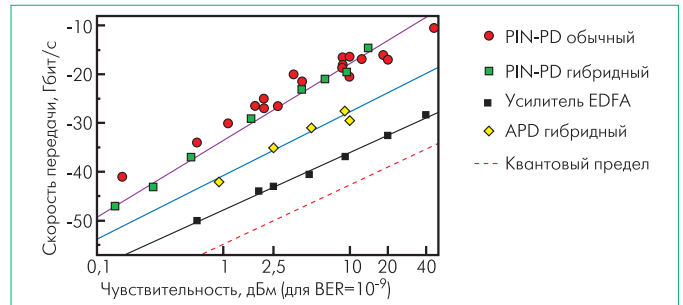


Рис.1 Зависимость чувствительности приемников от скорости передачи (слайд 11, ВОСС-2005)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ FEC

Использование FEC действительно помогает, хотя и увеличивает избыточность блоков последовательности. Для широко используемых FEC типа Рида-Соломона (RS) и турбокодов (с мягким порогом) сводные данные по избыточности и достижимому порогу FEC (по $Q_{\text{мин}}$ или по BER) приведены в табл.1.

Таблица 1. Характеристики используемых FEC

Поколение FEC	Избыточность, %	Тип кода	Порог FEC	
			по $Q_{\text{мин}}$	по BER
1	7	Одиночный RS	11,5 дБ	10^{-4}
2	10–25	Кратный RS	8,5 дБ	$4 \cdot 10^{-3}$
3	20–25	Турбокод	6,2 дБ	$2 \cdot 10^{-2}$

Если учесть, что идеальным обычно считают уровень $Q_{\text{мин}}=18$ дБ, то можно интерпретировать действие FEC как улучшение чувствительности приемника. Можно считать, что одиночный RS улучшает чувствительность приемника на 6,5 дБ, а кратный RS – на 9,5 дБ (см. также [3]).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАМАНОВСКОГО УСИЛИТЕЛЯ

Использование рамановского усилителя для уменьшения затухания коэффициента распределенного усиления ОУ EDFA на длинных участках общеизвестно [3]. Рамановское усиление можно рассматривать как улучшение чувствительности приемника (благодаря тому, что оно увеличивает отношение сигнал/шум непосредственно в точке приема).

УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ В ОВ И КОМПОНЕНТАХ

Уменьшения потерь в компонентах ожидать трудно, так как потери в сростках и оптических разъемах уже оптимизированы и близки к нижней грани. Если рассматривать резервы ОВ, то они еще существуют и могут использоваться в двух направлениях:

- в направлении снижения погонного затухания ОВ;
- в направлении увеличения допустимого уровня мощности оптического сигнала, вводимого в ОВ.

В первом случае снижение затухания для подобных систем можно получить, используя ОВ, изготовленное по стандарту G.654 со сдвигом длины волны отсечки в область

больших длин волн (1460–1500 нм). Таким является волокно Vascade EX1000 компании Corning, затухание которого на 1550 нм равно 0,17 дБ/км, что ниже затухания стандартного (G.652) OB SMF-28e (0,20 дБ/км). Меньшее затухание дает весомый выигрыш в бюджете мощности – 3 дБ на каждые 100 км трассы.

УВЕЛИЧЕНИЕ МОЩНОСТИ, ВВОДИМОЙ В ОБ

Формально такое увеличение мощности доступно, но оно ведет к увеличению известных нелинейных эффектов [1,2]: вынужденного рамановского (SRS) и бриллюэновского (SBS) рассеяния, фазовой самомодуляции (SPM), перекрестной фазовой модуляции (XPM) и четырехволнового смещения (FWM). Методы борьбы с ними в принципе известны: увеличение эффективной площади поперечного сечения и повышение порога SBS. Возможности первого метода пока ограничены, а второй – привел к появлению волокна NexCor компании Corning, позволившего увеличить этот порог на 3 дБ (подробнее см. в [4]).

Суммируя все вышесказанное, в докладе [1] приведена сводная таблица параметров однопролетных (фестонных) систем с длиной пролетов до 385 км, использующих скорость передачи 10 Гбит/с и технологию DWDM с 40 оптическими каналами (несущими) на одно волокно и FEC типа одиночный RS (табл.2).

Анализируя имеющиеся данные, можно сказать, что для однопролетных сетей связи длиной больше 200 км выгоднее использовать OB с низким затуханием, так как оно позволяет либо не использовать рамановское усиление, либо использовать усилители EDFA умеренной выходной мощности.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Во втором докладе – “Тенденции развития волоконно-оптической связи по материалам последних конференций” – Сергей Тен кратко охарактеризовал общие тенденции развития сетей связи, отраженные в докладах на Международной Европейской конференции по оптической связи (ECOC-2006, сентябрь 2006 г.) и Конференции IEEE в Далласе (в частности Собрании групп HSSG комитета IEEE 802.3 по разработке 100-гигабитного Ethernet и стандарта Ethernet для пассивных оптических сетей (PON) 10GEPON).

Таблица 2. Характеристики однопролетных сетей связи

Мощность в канале, дБм	Общая мощность, дБм	Чувствительность приемника, дБм	Усиление за счет FEC, дБ	Рамановское усиление, дБ	Системный запас, дБ	Допустимые потери, дБ	Длина при затухании 0,2 дБ/км, км	Длина при затухании 0,17 дБ/км, км
10	26	-37	6,5	0	5	48,5	243	285
17	33	-37	6,5	0	5	55,5	278	326
20	36	-37	6,5	0	5	58,5	293	344
10	26	-37	6,5	7	5	55,5	278	326
17	33	-37	6,5	7	5	62,5	313	368
20	36	-37	6,5	7	5	65,5	328	385

КОНФЕРЕНЦИЯ ECOC

Специалисты прежде всего обсуждали новые планки рекордов. Так, рекорды суммарной скорости передачи по одному оптическому волокну теперь составили: 15 Тбит/с (NTT) и 12 Тбит/с (Lucent). Рекорд спектральной эффективности (СЭ), равной отношению скорости передачи в оптическом канале (бит/с) к шагу частотного плана (Гц), теперь принадлежит Lucent и равен 3,2 (бит/с/Гц).

Для установления рекорда скорости NTT (Япония) выбрала систему DWDM с 70 несущими (оптическими каналами) в одном волокне (в диапазоне 1561–1619 нм). Поток в каждом канале мультиплексировался по методу с использованием ортогональной поляризации (что давало коэффициент кратности – 2), поляризованный поток модулировался с использованием квадратурной модуляции с удельным кодированием 2 бита/символ (что давало еще один коэффициент кратности 2 в соотношении Бод–бит/с) [2]. В результате исходный поток двоичных данных, сформированный на скорости 55,5 ГБод/с, соответствовал скорости 111 Гбит/с в расчете на каждое направление поляризации, что давало агрегатный поток на выходе мультиплексора каждого оптического канала – 222 Гбит/с. Суммарный поток при этом был равен 70×222 = 15,540 Тбит/с, а спектральная эффективность 2,22.

Максимальное количество оптических каналов, с которым предпочитают иметь дело ученые, составляет скромную цифру 100, а аналогичная цифра в коммерческих системах еще скромнее – 32–40 каналов. Скорость передачи в одном оптическом канале в экспериментах достигла 160–640 Гбит/с, а в коммерческих системах (например, France Telecom) – 40 Гбит/с.

СОБРАНИЕ ГРУППЫ HSSG КОМИТЕТА IEEE 802.3. — ГРУППЫ 100-ГИГАБИТНОГО ETHERNET

В ноябре 2006 года в Далласе (США) состоялось пленарное заседание Группы высокоскоростных технологий Ethernet (Группа HSSG, создана в июле 2006) [5]. Одна из основных целей заседания – обсудить возможность создания следующей высокоскоростной версии Ethernet – 100-гигабитного Ethernet (100GE).

Для изучения возможности создания 100GE Группа HSSG предложила следующий график работ:

- март–май 2007 – формулировка целей и задач технологии 100GE и разработка проекта PAR;

- сентябрь 2007–март 2008 – утверждение проекта PAR;
- май 2008–январь 2009 – первые три проекта стандарта;
- март–июль 2009 – последние два проекта стандарта;
- ноябрь 2009 – выпуск стандарта 100GE.

ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ И ОСОБЕННОСТИ 100GE

В результате предварительного рассмотрения и обсуждения проекта Группа HSSG предложила следующие цели проекта HSE:

- поддерживать только полнодуплексную версию Ethernet;
- сохранить формат и размеры кадров Ethernet 802.3;
- поддержать скорость 100 Гбит/с на интерфейсе MAC/PLS;
- обеспечить длину передачи не меньше 10 км на OM OB и не меньше 100 м на MM OB.

Итак, счетчик включен, и нам остается только следить за выполнением графика работ.

ГРУППА РАЗРАБОТКИ СТАНДАРТА 10GEPON

Развитие PON и использование Ethernet в сетях PON шло по такому пути:

- Ethernet на топологии “точка-точка” с терминальным коммутатором-распределителем Ethernet (стандарт IEEE 802.3 - PP);
- Ethernet-PON, или EPON с терминальным пассивным сплиттером в качестве распределителя на 32 направления (стандарт IEEE 802.3ah);
- BPON (широкополосный) или GPON (гигабитный) PON с пассивным сплиттером в качестве распределителя на 32/64 направления (стандарты ITU-T G.983/G.984).

Группа 10GEPON изучила возможности создания нового стандарта IEEE 802.3av и поставила следующие цели:

- поддержать версию Ethernet с топологией “точка-многоточка” с использованием пассивного сплиттера и распределением 1:16 и 1:32;
- обеспечить BER=10⁻¹² на интерфейсе физического уровня;
- поддержать две физические конфигурации: симметричную (со скоростями 10 Гбит/с вниз и вверх) и несимметричную (10 Гбит/с вниз и 1 Гбит/с вверх) с использованием OM OB;
- обеспечить длину передачи в зависимости от коэффициента распределения не меньше 10/20 км на OM OB.

Группа предполагает разработать первую версию стандарта в июле 2007 г., вторую – в марте 2008 г., третью – в июне 2008 г. и окончательный вариант стандарта в марте 2009 г.

Характеристики стандартов PON и EPON сведены в табл.3.

Новый стандарт должен быть полностью совместим со стандартом EPON (1 Гбит/с), не использовать FEC, а также обеспечить покрытие бюджетом мощности потерь не меньше 29 дБ.

ЭВОЛЮЦИЯ СТАНДАРТНЫХ OM-ВОЛОКОН

Сергей Акопов (технический директор московского отделения) рассказал об эволюции стандартных одномодовых воло-

Таблица 3. Параметры стандартных PON

	BPON ITU-T G.983	GPON ITU-T G.984	EPON IEEE 802.3ah	10GEPON IEEE 802.3av
Нисходящий поток, Гбит/с	0,622	1,244/2,488	1,244	12,44
Восходящий поток, Гбит/с	0,155/0,622	0,622/1,244	1,244	1,244/12,44
Эффективность, %	85	92	72	72
Полоса пропускания, Гбит/с	0,528	2,3	0,9	9
Распределение	1:32	1:32/1:64	1:32	1:32
Полоса в расчете на абонента, Мбит/с	16,5	36/72	28	280

кон производства компании Corning. Основу производства составляют волокна SMF-28 (стандарта G.652) и LEAF (1998 г., волокно с ненулевой смещенной дисперсией стандарта G.655). Волокно SMF-28, как наиболее широко используемое, постоянно модернизируется.

Для работы в системах CWDM был ликвидирован “водяной” пик на длине волны 1383 нм. Так появилась модификация SMF-28e, позволившая работать в наиболее широком диапазоне длин волн 1270–1610 нм. Идя навстречу пожеланиям разработчиков сетей CATV и технологии FTTH, компания Corning модернизировала волокно на базе технологии NexCor, что позволило новой модификации SMF-28e+ работать с удвоенной выходной оптической мощностью за счет сдвига порога вынужденного бриллюэновского рассеяния (SBS) на 3 дБ (см. его характеристики в [4]). Сегодня (2006 г.) волокно SMF-28e снова модернизировано – улучшены его характеристики в плане минимизации радиуса изгиба. Так появилась новая модификация SMF-28e XB, полностью удовлетворяющая требованиям стандарта G.652D.

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ OB

В заключительной части семинара Сергей Акопов осветил инженерные вопросы использования OB: вопросы технологии производства OB и предотвращения возможных обрывов, а также некоторые особенности измерения затухания OB с помощью бриллюэновского оптического рефлектометра (B-OTDR).

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие технологий оптической связи и волокон: Материалы семинара Corning. Москва, 19 декабря 2006.
2. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. 2-е изд., исправ. – М.: Радио и связь, 2003. – 468 с.
3. Слепов Н.Н. Оптоволоконные системы дальней связи. Перспективы развития. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №6, с.70–75.
4. Слепов Н.Н. Семинар компании Corning в Москве. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №5, с.86–87.
5. IEEE 802.3 Plenary Meeting. High Speed Study Group (HSSG). – Dallas, 14–16 Nov. 2006.