

# РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ И ВОЛОКОН

12 апреля 2006 года отделение компании Corning, США, провело в Москве очередной технический семинар "Развитие технологий оптической связи и волокон" [1]. Программа семинара, кроме обзора динамики рынка оптических волокон (ОВ) в 2005 году и последних достижений в оптических технологиях, в частности FTTH – "волокно к дому", по итогам Международной OFC-конференции (март 2006 года), а также сообщения об удачном использовании оптического бриллиантового рефлектометра, включала специальную сессию "Прочность и надежность оптических волокон". В рамках этой сессии были дополнительно представлены последние данные о микрокристаллических волокнах, ОВ с пониженным допустимым радиусом изгиба и о новой разработке компании Corning – волокне Vascade EX1000 со сверхнизким затуханием для подводных систем связи без усилителей.

## ДИНАМИКА РЫНКА ОВ И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО РАЗВИТИЯ

В представленном обзоре рынка ОВ Арина Корнильева (директор по маркетингу и продажам) отметила, что он не только стабилизировался в 2005 году (68 млн. км), но и увеличился по отрасли в целом на 15%. Наблюдаемые изменения спроса на ОВ в конце 2005 года в четырех основных сегментах рынка – сетях доступа, городских сетях, дальней и проводной связи и ЛВС – выглядели следующим образом:

	Сети доступа	Городские сети	Дальняя связь	ЛВС
Спрос, %	50	35	10	5
Рост, %	25	10	0	5

Спрос на ОВ в 2005 году во всем мире и его изменение по странам выглядели так:

	Северная Америка	Европа	Китай	Япония	Азия	Другие страны
Спрос, %	35	15	20	15	10	5
Рост, %	30	10	10	15	15	0

Спрос на ОВ в РФ и СНГ и его структура потребления были в 2005 году на уровне прогнозируемого [2].

**Общий прогноз рынка ОВ** и оптического оборудования на 2006 год по материалам компании Corning и других ведущих игроков этого рынка таков:

- рост рынка будет определяться развитием сетей доступа;

Н. Слепов  
nslepov@online.ru

- ожидается большой рост спроса на аксессуары и оборудование и небольшой – на ОВ и оптические кабели;
- продолжится стабилизация цен на ОВ.

**Рынок услуг широкополосного доступа** (волокно к дому – FTTH, Интернет, xDSL) в 2005 году сохранил низкие темпы роста оптического доступа FTTH, поддерживаемого только несколькими крупными проектами, и укрепил опережающие темпы роста модемного доступа xDSL. Число абонентов, охваченных указанными технологиями, по основным регионам мира выглядит так:

	Северная Америка, млн.	Европа, млн.	Азия-Австралия, млн.	Латинская Америка, млн.
xDSL	50	56	83	6
FTTH	0,5	0,7	5	Проекты

Прогноз 2005 года роста трафика Интернета [2] в целом оправдывается.

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВОЛОКОН

Сергей Тен (специалист компании по системам связи) привел новые данные о разработке специальных типов ОВ, используя материалы конференций OFC/NFOEC-2006.

- **Микроструктурированные** (фотонно-кристаллические – ФКВ) и **брэгговские** волокна [3] продолжают интересовать специалистов. На главные вопросы: "какая структура волокна самая лучшая и как достичь по-настоящему низкого затухания?" – так и не получены окончательные ответы. Первоначально (1998–2000 гг.) считалось, что ФКВ с полой сердцевиной может обеспечить затухание порядка 0,1 дБ/км, но и сейчас (2006 г.) достигнутые результаты (1 дБ/км) не могут конкурировать с лучшими характеристиками обычного ОВ (0,16 дБ/км). Ряд исследователей считают, что высокое затухание ФКВ объясняется шероховатостью стенок

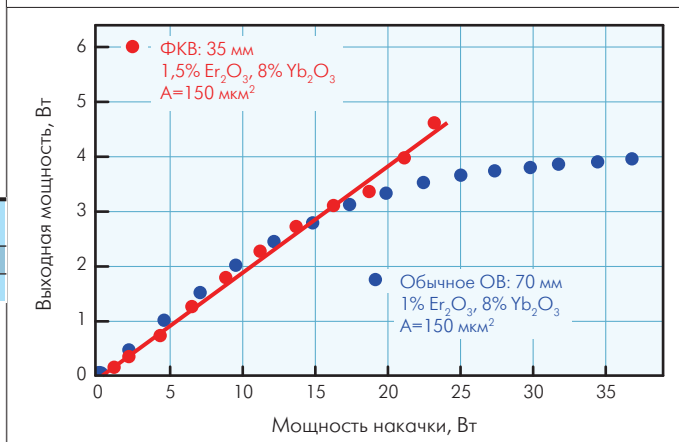


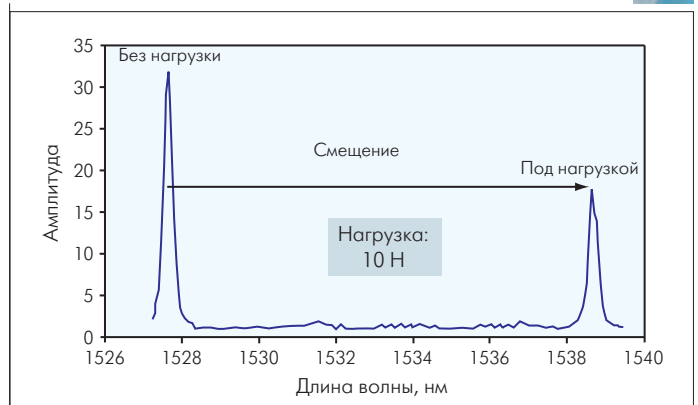
Рис. 1. Сравнение выходной мощности волоконного лазера на ФКВ (красные точки) и обычном ОВ (синие точки)

микрокапиллярных трубок и взаимодействием основной моды с поверхностными модами. Они утверждают, что уровень затухания не будет ниже 0,2 дБ/км [1]. Однако ФКВ уже имеют широкое применение (хотя и не в дальней связи), например для генерации спектрального суперконтинуума (SCG), т.е. могут быть использованы в качестве активной среды для сверхширокополосного лазерного источника, а также для мощного лазерного источника с высокой линейностью выходной (выход-накачка) характеристики, как показано на рис. 1.

- Волокна с пониженным допустимым радиусом изгиба важны (ввиду малой чувствительности к изгибам) для структурированных кабельных систем (СКС), в качестве ОВ для кабелей в сетях доступа, а также для соединения выхода лазеров типа VCSEL с печатной платой. Везде требуются повороты на 90°, причем в последнем случае радиус изгиба достигает 1 мм, а потери порядка 0,1 дБ. Таким волокном может быть как ФКВ, так и обычное ОВ.
- Новое волокно компании Corning Vascade EX1000 было разработано для подводных систем связи без усилителей (так называемые фестонные системы). Данные о нем весьма скромные: тип ОВ – ITU-T G.654, затухание – 0,16 дБ/км (минимальное) и 0,17 дБ/км (среднее). Оно позволяет увеличить дальность необслуживаемого пролета до 310 км (при использовании только усилителей EDFA на передающей стороне) и до 360–400 км (при использовании усилителей EDFA-Raman на передающей и приемной сторонах).

### МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОВ

В рамках семинара прошла специальная сессия "Прочность и надежность оптических волокон" с основным докладчиком Скоттом Глезманном (Scott Glaesemann) – одним из ведущих мировых специалистов в области прочности и надежности ОВ. Его весьма инте-



**Рис.2. Использование решетки Брэгга для измерения натяжения ОВ**

ресный и информативный доклад был посвящен основам механической надежности ОВ. Затрагивались, в частности, вопросы образования трещин, дефекты стекла (фрактография), измерение прочности ОВ (включая статистические аспекты), усталостное разрушение и механическая надежность ОВ.

Был рассмотрен также ряд практических методов измерения механических параметров волокна, в частности измерение приложенного напряжения с помощью оптических методов, включая наиболее эффективный из них – метод с использованием решетки Брэгга (рис. 2). В соответствии с этим методом внутри ОВ (стандартным способом ультрафиолетового экспонирования через маску) формируется отражательная решетка Брэгга – периодическое изменение показателя преломления. Приложенная к ОВ нагрузка изменяет период решетки и эффективный показатель преломления, что, в свою очередь, изменяет длину волны, которая отражается от нее. Разница в длине волны отраженных волн (до и после нагрузки) и дает возможность вычислить приложенную нагрузку. Метод характеризуется

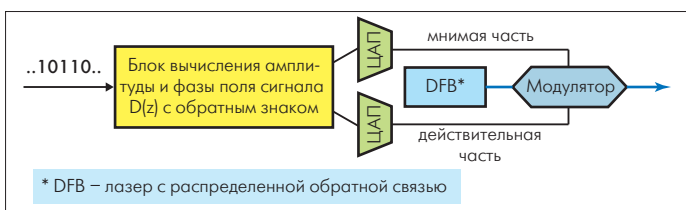


Рис.3. Принцип работы ЭКД, осуществляемой на передатчике

высокой разрешающей способностью и возможностью осуществления как динамических, так и статических измерений.

**РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Тенденции развития систем дальней связи по материалам конференций OFC/NFOEC-2006 отразил в своем докладе Сергей Тен. Он особо оттенял общие тенденции развития оптических сетей, сверхбыстрые системы передачи и электронную компенсацию дисперсии.

**Общие тенденции развития оптических сетей**, отраженные в докладах на конференциях, рисуют светлую картину нашего настоящего и будущего. Оказалось, что мы уже, среднестатистически, потребляем 2 гигабайта информации в месяц, "качая" ее со скоростью от 1,5 до 6 Мбит/с. Но прогноз таков, что завтра (в наступающей эре цифрового ТВ) мы будем потреблять более 200 гигабайт информации в месяц, а послезавтра (в эре цифрового ТВ высокого разрешения – HDTV) наше потребление возрастет до 1 терабайта в месяц. Этот прогресс не в последнюю очередь обязан быстрому развитию двух связанных технологий: VoIP (передача видео поверх IP-сети) и VoD (доставка видео по требованию). То, что традиционные операторы "ставят" на видео, вполне объяснимо. Во-первых, это желание клиентов (все хотят не только слышать, но и видеть, и с хорошим качеством), во-вторых, это желание традиционных операторов отобрать лакомый кусок у операторов кабельного ТВ. При совпадении желаний эффект удваивается!

**Сверхбыстрые системы передачи** – это следствие требований со стороны клиентов все большей полосы пропускания (шаги здесь впечатляющие: килобиты-мегабиты-гигабиты-терабиты). Производители едва успевают эти требования удовлетворять. Только успели внедрить 10-гигабитные системы SDH, ATM и Ethernet, как уже приходится выпускать 40-гигабитные мультиплексоры SDH и маршрутизаторы ATM. Но и этого завтра будет недостаточно. Вот и приходится срочно тестировать в лабораториях (и докладывать на конференциях) мультиплексоры SDH с агрегатным потоком 160 Гбит/с или коммутаторы Ethernet со скоростями переключения пакетов 100 Гбит/с. И это только то, что дает интенсивный путь развития, а если он зайдет в тупик (исследователи говорят, что поляризационная модовая дисперсия может стать проблемой [1]) – не беда, перейдем с помощью WDM на рельсы экстенсивного пути развития (подробнее см. в [4]).

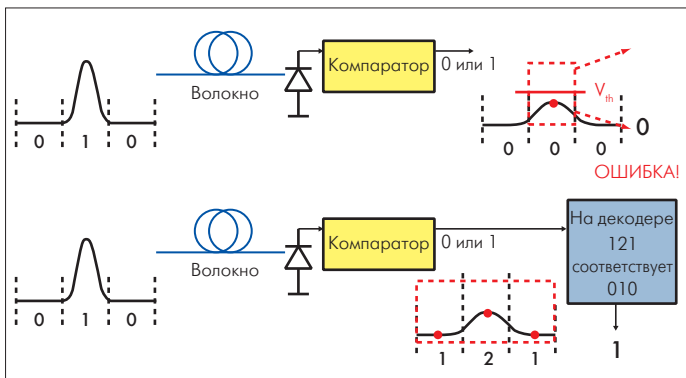


Рис.4. Принцип работы ЭКД, осуществляемой на приемнике

Сверхбыстрыми среди специалистов [1] принято считать скорости в одном канале выше 40 Гбит/с. Для их промышленной реализации сейчас приходится применять целый арсенал приемов, включающий использование специальных методов (форматов) модуляции и кодирования, в том числе и помехоустойчивого, на передающей стороне, специальных методов демодуляции/детектирования на приемной стороне, а также специальных методов компенсации дисперсии при передаче по линии связи (подробнее см. в [5]). Последние до настоящего времени были либо технологическими (использование чередующихся строительных длин кабеля с положительной и отрицательной дисперсией и специального ОБ с малой ненулевой смещенной дисперсией типа NZDSF), либо оптическими (использование модулей компенсации дисперсии – DCM). В настоящее время появилась возможность *электронной компенсации дисперсии* (ЭКД).

**Электронная компенсация дисперсии** в основном использует две схемы для решения этой задачи: ЭКД на передатчике и на приемнике.

ЭКД на передатчике работает следующим образом: вычисляется амплитуда и фаза поля сигнала, распространенного по волокну на расстояние, соответствующее длине системы, но имеющего обратный знак дисперсии:  $-D(z)$ ; полученный сигнал преобразуется в аналоговый с использованием цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Сформированный образ сигнала (действительная и мнимая части – рис. 3) подается на модулятор, компенсируя результат действия дисперсии. ЭКД в этом случае позволяет обойтись без использования модулей DCM, упрощает конструкцию оптического усилителя, допускает реконфигурацию сети в режиме реального времени.

ЭКД на приемнике работает по типу обработки цифрового сигнала в системах адаптивного приема. В частности, используется один из методов *последовательной оценки по критерию максимума правдоподобия* (MLSE). В этом случае детектор, вместо использования формирования (компаратором) цифровой последовательности в точках пересечения входным сигналом порогового уровня, оцифровывает принятый сигнал, осуществляет его обработку в соответствии с алгоритмом MLSE и, с определенной вероятностью, распознает битовую последовательность (рис. 4).

Первый тип ЭКД разработан и используется компанией Nortel, второй – компаниями Alcatel и Lucent, которые критикуют первый метод, считая, что он существенно увеличивает порог нелинейности систем дальней связи.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БРИЛЛЮЭНОВСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА**

В заключительной части семинара Сергей Акопов (технический директор компании) осветил инженерные проблемы, связанные с практическим применением *бриллюэновского оптического рефлектометра* (В-OTDR) и с ростом интереса собственно к *эффекту Бриллюэна* (ЭБ). Этот эффект вызывает как спонтанное, так и вынужденное бриллюэновское рассеяние.

*Спонтанное бриллюэновское рассеяние* (СБР) возникает в результате взаимодействия оптической волны со звуковыми волнами в ОБ, вызванными тепловым движением атомов и молекул, флуктуациями давления и вариациями показателя преломления. Наиболее мощное СБР происходит в обратном направлении и сопровождается доплеровским сдвигом частоты рассеянного света.

*Вынужденное бриллюэновское рассеяние* (ВБР) возникает по схожему сценарию. В результате интерференции падающей световой волны и волны, отраженной от акустического шума (стоксовой волны) возникает явление электрострикции, порождающее звуковую волну, на которой и происходит ВБР. Растущее ВБР усиливает зву-



ковую волну, которая, в свою очередь, стимулирует усиление ВБР и т.д., пока не возникает динамического равновесия. ВБР ограничивает передаваемую волокном мощность оптического сигнала [6].

Для снижения влияния ВБР компания Corning разработала волокно NexCor (параметры – в работе [6]), в котором порог возникновения SBS повышен на 3 дБ, что дало возможность вдвое увеличить уровень входного сигнала, а это, в свою очередь, позволило удвоить (с 16 до 32) коэффициент разветвления в системах PON [6].

С.Акопов познакомил участников семинара с различными возможностями использования В-OTDR, в частности с методом измерения растягивающих усилий ОВ (МЭК 60794-1Е1), а также с практикой анализа напряженных состояний в волокнах кабелей различного типа и при различных условиях эксплуатации. Были приведены примеры использования В-OTDR для точечного анализа дефектных состояний бетонных и металлических труб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие технологий оптической связи и волокон: Материалы семинара Corning. Москва, 12 апреля 2006.
2. Слепов Н. Технология оптической связи и волокон. Семинар компании Corning. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2006, №2, с.50–52.
3. Слепов Н. Фотонно-кристаллическое волокно – уже реальность. Новые типы оптических волокон и их применение. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №5, с.80–84.
4. Слепов Н. Современные оптоволоконные технологии (чем ударить по бездорожью). – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №1, с.20–23.
5. Слепов Н. Оптоволоконные системы дальней связи. Перспективы развития. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №6, с.70–75.
6. Слепов Н.Н. Семинар компании Corning в Москве. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №5, с.86–87.



#### "Замороженный чип"

#### бьет рекорд быстродействия

Ученые компании IBM и Технологического университета шт. Джорджия утверждают, что, создав "замороженный чип", им удалось побить рекорд быстродействия кремниевых микросхем. В ходе экспериментов по изучению предельного быстродействия кремний-германиевых приборов была создана микросхема с рабочей частотой более 500 ГГц при охлаждении до 4,5К. Рабочая частота прибора при комнатной температуре – 350 ГГц (тактовая частота новейших микросхем двухъядерных процессоров для серверов компаний Intel и Advanced Micro Devices составляет 2,5–3 ГГц). По утверждению разработчиков, полученные результаты могут привести к появлению нового класса высокопроизводительных микросхем с низкими энергозатратами, пригодных для применения в системах ТВЧ, средствах воспроизведения видеоизображения, сопоставимого по качеству с киноизображением.

Ученые не только достигли рекордной частоты, но и сумели изготовить микросхему по SiGe-технологии четвертого поколения на 200-мм пластинах с использованием неоптимизированного комплекта шаблонов. На базе данных компьютерного моделирования разработчики утверждают, что по мере совершенствования технологии смогут достичь значительно более высоких частот (около  $10^{12}$  ГГц) даже при комнатной температуре.

Дальнейшие работы ученых будут направлены на понимание физических процессов, обуславливающих некоторые необычные свойства SiGe-устройств при столь низких температурах

[www.eetimes.eu](http://www.eetimes.eu)