

СОВРЕМЕННЫЕ ОПТОВОЛОКОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ЧЕМ УДАРИТЬ ПО БЕЗДОРОЖЬЮ



В последние несколько лет в связи с настоятельной необходимостью расширения пропускной способности сетей передачи данных (СПД), вызванной взрывным ростом Интернет-трафика, стали интенсивно развиваться СПД, использующие как существующие (SONET/SDH, ATM), так и новые (WDM/DWDM, AON, солитонные) технологии и оптоволоконную среду для передачи данных. Отечественные научно-технические издания откликнулись на это рядом статей, которые вместе с объективными данными содержали спорные утверждения и неточности, в какой-то мере дезориентирующие читателя.

В частности, рассматривая проблему высоконадежной передачи информации на большие расстояния, некоторые авторы называют непреодолимыми (или трудно преодолимыми) ограничения, накладываемые нелинейной средой передачи – оптическим волокном (ОВ). На этом основании предлагаются и пути выхода, приемлемые, как кажется авторам, для России. Но многие из них весьма спорны...

В опубликованной в прошлом номере журнала “ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ” статье “Символьная передача данных по ВОЛС” [1] описан новый метод передачи данных, запатентованный с приоритетом от 4 июля 2000 года. Цель метода – преодолеть отмечаемые авторами трудно устранимые недостатки DWDM, а именно:

- чувствительность ВОЛС к нелинейным эффектам (в первую очередь – к четырехволновому смешению, ЧВС) и связанную с этим (по мнению авторов) необходимость использовать “весьма дорогостоящее ОВ с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF)”;
- ограничение максимально допустимой для ОВ мощности излучения (19 дБм) и связанное с ним снижение мощности излучения на каждой несущей, что ведет к снижению бюджета по мощности и, как следствие, к уменьшению длины пролета в системах с DWDM до величин 40–80 км.

Н. Слепов

nslepov@teleross.ru

По поводу статьи

“Символьная передача данных по ВОЛС”
(ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, №6, 2001, с.10–14)

Для устранения этих недостатков авторы работы [1] предлагают (а автор [2] одобряет) известный, в общем случае, оптический вариант метода мультиплексирования с разделением по времени (OTDM) и символьным интерливингом (перемежением), или, в их интерпретации, “модуляцию сигнала методом многопозиционной частотной манипуляции”. Этот метод, по мнению авторов, способен не только преодолеть отмеченные недостатки DWDM, но и обеспечить более высокую помехозащищенность при разумном компромиссе между скоростью передачи и числом используемых несущих в ОВ.

В методе используется N оптических несущих, передаваемых в ОВ последовательно. Каждая несущая соответствует информационному блоку из n бит (n – целая часть $\log_2 N$). Каждый последовательно передаваемый информационный блок занимает свой тайм-слот, как и в любом TDM-методе.

Особенностью предложенной технологии являются:

- дублирование оптических несущих, т.е. деление исходного тайм-слота на два подынтервала: в одном передается информационная несущая, в другом – ее дублер;
- использование дополнительного символа проверки на четность – следовательно, двух дополнительных несущих для передачи результатов проверки.

В результате применения такой схемы для приведенного в работе [1] модельного примера 4-канальной OTDM-передачи 20 информационных бит превращаются в 50, информационная емкость формально уменьшается до уровня 0,4; а использование OTDM дополнительно снижает эту емкость по сравнению с обычной 4-канальной WDM (с четырьмя несущими) до величины 0,1 (0,4/4). Такое уменьшение емкости системы оправдывается увеличением ее надежности при передаче на большие расстояния (оперируемый порядок BER – 10^{-10}) и снижением требований к ОВ (возможность использования волокна DSF, а не NZDSF). При этом на формирование потока 40 бит/с “расходуется” 34 несущих вместо стандартных четырех.

ФАКТЫ, О КОТОРЫХ ЗАБЫЛИ

Уважаемые господа, хочу напомнить некоторые, возможно забытые, факты из истории развития WDM.

1. Уже четыре года по всей Европе исправно работает сеть "Pan-European Network" компании Hermes (GTS Holding) на **стандартном** (а значит – самом дешевом) **ОВ**. В этой сети с сотнями узлов от Франции и Италии до Беларуси использована DWDM-аппаратура Sentry 4000 (40 несущих) компании Ciena [3, 4]. На ряде участков с 2001 года уже работает новое поколение того же оборудования с 96 несущими – все на том же **стандартном ОВ**, проложенном еще в "до-WDM-эпоху" сетевой истории. При этом надежность системы при штатной эксплуатации соответствует $BER \sim 10^{-12} - 10^{-13}$. Следовательно, пресловутые трудности успешно преодолеваются даже со **стандартным**, закопанным в "доисторические времена" **ОВ**.

2. При проектировании перспективной DWDM-системы связи (1999–2000 год, компании Telia, Hermes, Teleross), известной как "Балтийская кабельная система", BSC (Брюссель – Стокгольм – Хельсинки – Санкт-Петербург – Москва), предусматривалось использование **стандартного ОВ** SF-28 (компания Corning) в 96-жильном кабеле и оборудования фирмы Ciena на 40/96 несущих. Проект не реализован, сейчас реанимируют Telia и "Ростелеком".

3. Первая в России система WDM на линии Санкт-Петербург–Москва (анонсирована компанией "Раском" в мае 2001 года), работающая на **стандартном ОВ** компании Pirelli (образца 1992 года) и оборудовании Optera компании Nortel [3], способна реализовать 32 канала STM-64 (10 Мбит/с на канал) на одном **ОВ** при потенциале оборудования Optera до 160 каналов.

Несмотря на эти факты, авторы работ [1, 2] советуют вложить немалые деньги в разработку нестандартной (с точки зрения мирового проверенного инженерного опыта) технологии, которая, возможно, и хороша с точки зрения надежности для каких-нибудь единичных спецприменений, но, будучи нестандартной и худшей с точки зрения емкости и скорости передачи, не может служить основой для развития отечественных глобальных сетей.

Кроме того, у традиционной WDM-технологии с ее возможными ограничениями на длину пролета* есть альтернатива. Уже три года исправно работают **две промышленные солитонные системы** SDH-WDM (STM-64 – WDM-4) [3, 5]. Именно солитонной, ставшей уже стандартной, технологией можно ударить "по российскому бездорожью" с плохими кабелями. Если посмотреть на схему такой промышленной системы (см. рисунок), то все, что нужно, – это снабдить **стандартную** сеть SDH (от STM-16 до STM-256), работающую на **стандартном ОВ**, солитонными генераторами, т.е. мощными лазерными источниками, способными генерировать солитоны первого порядка (а России таких источников не занимать), установить достаточно дешевые импортные блоки компенсации дисперсии DCF (для создания отрицательной "в среднем" дисперсии

*Пролет – участок ВОЛС между двумя оптическими усилителями.

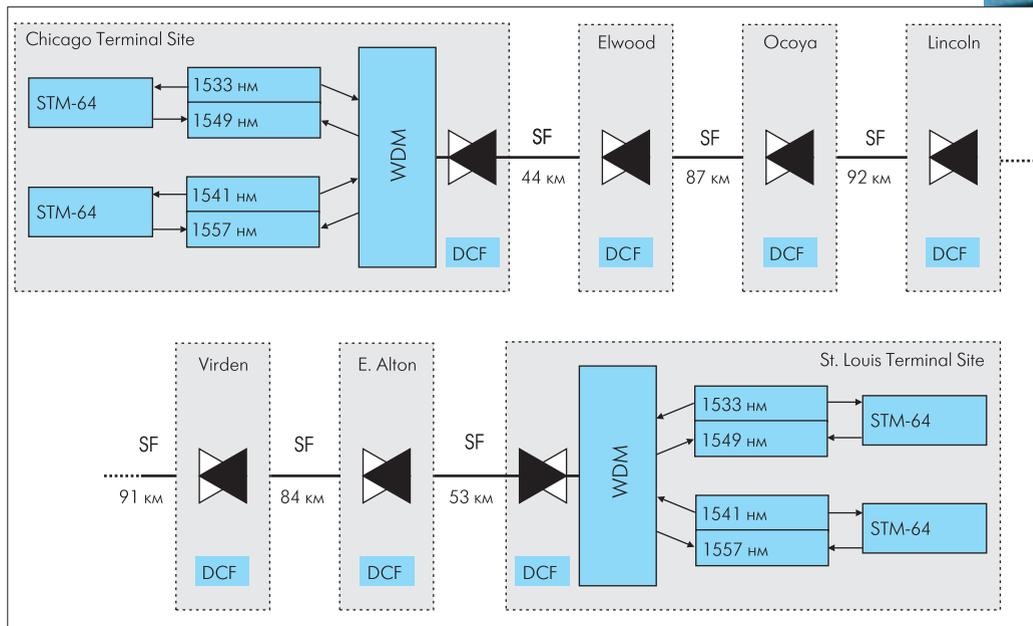


Схема промышленной солитонной 4-канальной линии связи SDH в Англии (компании Pirelli и MCI)

на длине регенерационного участка) – и вперед. Длина пролета при этом может быть увеличена до **900–1000 км** без каких-либо (все еще дорогих) оптических усилителей.

Прошло уже шесть лет с тех пор, как в 1996 году японские исследователи, используя лабораторную солитонную систему связи, показали возможность солитонной передачи со скоростью 160 Гбит/с на расстояние 225 км с надежностью, соответствующей $BER = 10^{-10}$ [3]. Поэтому на вопрос: "что лучше использовать в России для создания магистральной линии связи емкостью 160 Гбит/с: связку из 64 несущих/каналов WDM с SDH (STM-16, 2,5 Гбит/с) в каждом канале, не нарушающую линейного режима **ОВ**, или "одноканальную" принципиально нелинейную солитонную систему связи, вгоняющую в **стандартное ОВ** один поток 160 Гбит/с?" ответ один (возможно, парадоксальный для большинства авторов) – **одноканальную солитонную линию связи**.

НЕКОТОРЫЕ ЗАБЛУЖДЕНИЯ О НЕПРЕОДОЛИМЫХ ТРУДНОСТЯХ

Для обоснования своих решений ряд авторов обычно описывают практически непреодолимые проблемы известных технологий/методов, которые их решения легко преодолевают. К таким трудностям для **ОВ** обычно относят: дисперсию поляризованной моды (PMD), четырехволновое смешение, допустимую (при сохранении линейного режима) мощность суммарного вводимого оптического сигнала и прочие нелинейности. Во многих случаях эти авторы вольно или невольно вводят читателей в заблуждение.

Заблуждение 1. В своих рассуждениях об **ОВ** авторы [1, 2, 6] говорят о большом влиянии ЧВС и необходимости использовать "весьма дорогостоящее **ОВ** с ненулевой смещенной дисперсией". Но при этом они забывают, что еще проще использовать дешевое **стандартное ОВ**, для которого в третьем окне прозрачности ЧВС практически отсутствует (грамотные проектировщики, умеющие считать деньги в карманах своих компаний, именно его и используют). Разобраться в этом помогает чтение оригинальной литературы [7] или вторичных источников [4, 8]. На их основании в работе [3] (раздел 12.2.3) сформулированы рекомендации по использованию **ОВ**, в том числе и в системах WDM.

Заблуждение 2. Другая "почти непреодолимая" трудность – увеличение длины пролета/секции. Длина пролета (при обсуждении

уже используемого оборудования) чаще всего занимается авторами, если им нужно показать достоинства своего решения. Эта длина (как ни странно) определяется прежде всего плотностью/развитостью инфраструктуры сети и максимизируется только на отдельных участках, где нет потенциальных клиентов. Например, для упомянутой сети компании Hermes она составляет не 40–80 км, как полагают авторы [2], а меняется от 20–80 км (стандартные пятипролетные секции с бюджетом 25 дБ) до 120 км (стандартные двухпролетные секции с бюджетом 33 дБ) [3] и может быть увеличена до 150–160 км и выше (нестандартные однопролетные секции с увеличенным до 44 дБ и выше бюджетом мощности). Критичность этого показателя резко снизилась ввиду широкой гаммы современных оптических усилителей (ОУ), в том числе и встроенных в аппаратуру/мультиплексоры. Они позволяют сегодня увеличить (если нужно) длину пролета до 320–360 км, а стандартную длину секции – до 640–1200 км. То есть и в этом смысле нет необходимости разрабатывать специальную для России технологию, как заявлено в работе [1].

Заблуждение 3. Считается, что с ростом числа несущих, вводимых в ОВ, резко возрастает уровень нелинейных эффектов, увеличиваются вносимые затухания, становится трудно выделять отдельные несущие как в результате их наложения (за счет естественной ширины спектра), так и за счет смещения, вызванного температурной нестабильностью частоты несущей. Да, все это имеет место, но в значительно меньшей степени. Если верить вычислениям и данным, приведенным рядом авторов (например, [6]), то системы WDM с числом каналов больше 16 и скоростью в канале 2,5 Гбит/с вообще не будут устойчиво работать. Практика же показывает, что они устойчиво работают и с 40, и с 96, и со 160 каналами при скорости в канале не только 2,5 Гбит/с, но и при 10 Гбит/с, а в будущем, думаю, – и при 40 Гбит/с.

Причины заблуждений кроются в источниках оценок, используемых авторами. Так, в [6] указано, что вносимые потери в схемах мультиплексирования-демультиплексирования WDM составляют 14 дБ для устройств с 16 каналами, тогда как по более современным данным они могут быть снижены до 4–12 дБ [3] для устройств с 260 каналами. В той же работе для систем WDM на скорости STM-256 прогнозируют максимум 20 каналов, мы же считаем, что можно будет разместить свыше 200 каналов. К сожалению, достоверных теоретических оценок указанных параметров нет, поэтому единственный надежный источник – лабораторные эксперименты.

Другой важный момент – особенности чисто оптических методов. Например, Nakazava [9] и Со. сумели практически исключить взаимодействие соседних солитонов первого порядка при расстоянии между ними, равном ширине самих солитонов, путем использования их ортогональной поляризации, что и позволило создать еще в 1996 году систему одноканальной передачи со скоростью 160 Гбит/с. Используя схемы оптического сжатия импульсов, можно, видимо, добиться в одном канале скоростей порядка STM-4096 (640 Гбит/с) [3, 7].

ПЕРСПЕКТИВЫ РОСТА СКОРОСТИ И ЕМКОСТИ СПД

В итоге перспективы роста скорости и емкости СПД поистине потрясающие. Исторически основные показатели возрастали по двум направлениям (речь идет только о технологиях глобальных сетей связи) – интенсивному (увеличение скорости передачи в одном канале) и экстенсивному (увеличение числа параллельных каналов). Последнее направление развивалось как за счет увеличения числа волокон в волоконно-оптическом кабеле (ВОК), так и путем увеличения числа оптических несущих, передаваемых по одному волокну (технология WDM).

Рост скорости в одном канале ограничен прежде всего возможностями используемых технологий. Так, за последние 10 лет системы SDH прошли путь от STM-1 (скорость 155 Мбит/с, максимальная емкость полезной нагрузки – 1920 основных цифровых каналов (ОЦК) по 64 Кбит/с [8]) до широкого внедрения промышленных систем с STM-64 (скорость 10 Гбит/с, максимально 122880 ОЦК) и разветвления производства промышленных (а не лабораторных!) систем с STM-256 (скорость 40 Гбит/с, максимально 491520 ОЦК). Ведутся лабораторные исследования в области создания систем с STM-1024 (OC-3072). Таким образом, по данному параметру развитие СПД уже сейчас можно характеризовать так называемым индексом прогресса SDH – $PI_{SDH} = 256$.

Число параллельных каналов возросло благодаря как совершенствованию ВОК, так и внедрению технологии WDM. Что касается ВОК, то примерно за 10 лет, начиная с четырехволоконного, удалось наладить (не рассматривая спецкабели [4]) промышленный выпуск магистрального 144-волоконного ВОК. Индекс прогресса волокна $PI_F = 36$. Учитывая оба индекса, уже сейчас реально создавать магистральные системы передачи емкостью 70778880 (т.е. больше 70 миллионов!) ОЦК.

Волновое мультиплексирование WDM [4], относительно давно используемое в оптике, привлекло внимание разработчиков сетей связи в 70-х годах. Здесь исследователи и инженеры сумели продвинуться от использования одной или двух оптических несущих (1310 и 1550 нм) в одном волокне [11], до промышленных систем с 160 несущими на одно волокно [4] (индекс прогресса WDM – $PI_{WDM} = 160$).

Итак, суммируя вышесказанное, сегодня, в принципе, можно создавать магистральные системы передачи с максимальной емкостью больше 11 миллиардов (!!!) ОЦК в одном ВОК. Несмотря на столь ошеломляющие перспективы, инженеры заявляют о возможности уже сейчас удвоить число несущих на одно волокно (до 320) за счет уменьшения вдвое разнесения несущих (индекс прогресса $PI_{WDM} = 320$). Эту практическую возможность подтверждают лабораторные разработки (по крайней мере со стороны Bell Labs) систем с 1024 несущими на одно ОВ, что дает дополнительный индекс ожидаемого прогресса WDM – $EPI_E = 6,4$ (т.е. названные 11 миллиардов реально могут превратиться в 72 миллиарда!).

А еще необходимо принять во внимание солитонный индекс ожидаемого прогресса SDH (EPI_S). Учитывая практическое (промышленное) использование солитонных систем [4, 12], возможно довести скорости передачи по одному каналу до уровня 160 Гбит/с (STM-1024), что дает величину $EPI_S = 4$. Под эти скорости уже планируется создание 100- (или даже 160-) гигабитного Ethernet – по скорости передачи локальные сети не хотят отставать от глобальных.

При одновременной промышленной реализации всех описанных технологических достижений (что реально уже в ближайшие два–три года) получаем немислимую раньше цифру – порядка 290 миллиардов каналов ОЦК ($N_{OЦК}$) по одному модельному ВОК (включающему 144 ОВ):

$$N_{OЦК} = 1920 \text{ (ОЦК в канале STM-1)} \cdot 144 \cdot PI_{SDH} \cdot PI_{WDM} \cdot EPI_E \cdot EPI_S = 1920 \cdot 144 \cdot 256 \cdot 160 \cdot 6,4 \cdot 4 = 289,91 \cdot 10^9 !!!$$

Блок-схема такой системы традиционно проста. Но невероятно сложным, если вообще выполнимым, может оказаться создание сети доступа такого монстра (ВОК-144). А что, если кто-нибудь захочет использовать среду передачи N -ВОК-144, т.е. соединить магистральные мультиплексоры HDWDM-1024 с помощью N кабелей? Найдутся ли желающие наполнить эту информационную "черную дыру", способную по одному ВОК засосать поток 18,5 Пбит/с (18554 Тбит/с)?



Конечно, в этом полете фантазии нужно отдавать отчет в том, что не все рассмотренные здесь предельные параметры технологий SDH-WDM можно совместить. Видимо, придется подождать с реализацией двух последних коэффициентов 6,4 и 4 или скорректировать их в сторону уменьшения. Однако даже без них прогнозы на самую ближайшую перспективу составят порядка 725 Тбит/с на один ВОК – а это значительно больше, например, расчетной потребности для Европы – 9 Тбит/с к 2005 году [6].

Уместно напомнить, что в России в ближайшем будущем мы столкнемся с перепроизводством сетевой емкости (как сейчас в Европе), если будем развертывать системы SDH-WDM в том же темпе, что и в последние 10 лет – это еще один из парадоксальных выводов анализа перспектив развития ВОЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некучаев А., Юсупалиев У. Символьная передача данных по ВОЛС. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2001, №6, с.10–14.
2. Скляров О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы. – М.: Солон-Р, 2001.
3. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволо-

конных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000.

4. Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы: Сб. статей под ред. С.А.Дмитриева, Н.Н.Слепова. – М.: Connect, 2000.
5. Harbour, Stephen. Soliton Research May Improve Optical Fiber Transmission. – "EuroPhotonics", Oct/Nov, 1998, p. 38-39.
6. Заркевич Е.А., Скляров О.К., Устинов С.А. DWDM для высокоскоростных систем связи. – Технология и средства связи, 2000, №3.
7. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика: Пер. с англ./Под ред. П.В.Мамышева. – М.: Мир, 1996.
8. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Изд-во Syrus Systems, 1999.
9. Nakazawa, Masataka. Telecommunications Rides a New Wave. – Photonics Spectra. Feb. 1996, p. 97-104.
10. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. – 4-е изд. – М.: Эко-Трендз, 1999.
11. Слепов Н.Н. Оптическое мультиплексирование с разделением по длине волны. – Сети, 1999, № 4, с. 24–31.
12. Слепов Н.Н. Солитонные сети. – Сети, 1999, № 3, с. 90–100.

Ассоциация "МирТелеКом" объявила о запуске самой скоростной Интернет-магистрали в России

Компании "Раском" и "Метроком" объявили о запуске в коммерческую эксплуатацию самой скоростной Интернет-магистрали (Санкт-Петербург – Москва), получившей название Giganet. Презентация этого одного из самых масштабных проектов 2001 года состоялась в рамках выставки "Ведомственные и корпоративные сети связи" в Москве. Giganet базируется на первой в России оптической DWDM-сети, строительство которой было завершено этим летом компанией "Раском". Узловые точки сети соединены двумя каналами STM-4 (620 Мбит/с). Скорость передачи информации через Giganet составляет более 1,2 Гбит/с. По словам представителей компаний "Раском" и "Метроком", пропускная способность может быть легко увеличена до 10 Гбит/с, однако пока в этом нет потребности. Линия Москва-Петербург представляется создателям сети наиболее важной, поскольку именно через нее проходит самый большой объем трафика в нашей стране. Giganet - пока самая скоростная Интернет-магистраль между двумя столицами. С европейским сегментом Интернета Giganet соединяется каналом 155 Мбит/с сети UUNET. Основу сети составляют мощные маршрутизаторы CISCO GSR12000, установленные на московской и петербургской площадках компании "Раском". Каждый из них обеспечивает передачу до 40 Гбит/с IP-трафика с использованием самых современных технологий оптимизации передачи, таких как MPLS, VLANs и PoS. Клиентский трафик агрегируется маршрутизаторами CISCO7000, соединенными с опорной сетью гигабитными оптическими интерфейсами. Все маршрутизаторы имеют горячее резервирование по питанию и процессорам и, благодаря поддержке протокола HSRP, могут автоматически заменять друг друга в случае полного или частичного отказа.

Сеть Giganet имеет ряд принципиальных преимуществ для клиентов. Широкополосная IP-магистраль пропускной способностью 1,2 Гбит/с выделена в сети исключительно под задачи предоставления Интернет-услуг. Кроме того, услуги продаются "из одних рук" – у пользователей нет необходимости заниматься отдельной покупкой магистральных каналов и IP. По словам представителей компаний "Метроком" и "Раском", ее возможностями уже пользуются около двадцати крупных заказчиков.

По информации CNews.ru

Паназиатская подводная кабельная система введена в эксплуатацию

В декабре 2001 года консорциум ведущих телекоммуникационных компаний начал предоставлять услуги связи в сети Asia Pacific Cable Network 2, первой в мире паназиатской кольцевой подводной системы. Компании, среди которых Cable & Wireless, China Telecom, Singapore Telecommunications и KDDI, инвестировали в этот проект свыше 1 млрд. долл. Система включает 19 тыс. км кабеля, соединяющего Китай, Гонконг, Японию, Корею, Малайзию, Филиппины, Сингапур и Тайвань.

По информации CNews.ru