

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ WDM



Сетевые операторы, использующие современные широкополосные транспортные технологии цифровой передачи данных, в борьбе за доминирующее положение на рынке телекоммуникационных услуг стараются предложить конечным пользователям (клиентам), все более широкую полосу передачи по той же или даже меньшей цене. В этой борьбе производители оборудования такой современной технологии, как технология *синхронной цифровой иерархии (SDH)*, идут по пути увеличения линейной скорости передачи в одном канале (или на одной несущей), пропагандируя традиционный *интенсивный путь* развития систем связи. Те же производители, но сделавшие ставку на технологию *оптического мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM)*, предполагают увеличение общей ширины полосы передачи путем увеличения числа каналов (или несущих), пропагандируя тем самым *экстенсивный путь* развития. Именно последняя технология, позволяющая передавать по одному волокну до 320 несущих, и является сейчас предметом пристального внимания и развития.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивный путь развития практически подошел к своему пределу и остановился на скорости 40 Гбит/с, используя технологию SDH [1]. Однако из-за невозможности использовать даже эту скорость на многих волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС), что объясняется ограничением по дисперсии стандартного оптического волокна (ОВ), возрос интерес к экстенсивному пути развития. Действительно, если волоконно-оптическая система передачи (ВОСП) не может работать на скорости 40 Гбит/с в одном канале (на одной несущей), а может работать только на 2,5 Гбит/с, но при этом допускает использование 16 несущих на одно ОВ, то это также решает проблему расширения полосы. Если же технология WDM допускает работу той же ВОСП с 32–256 и даже большим числом каналов, то мы, вместо тупика в развитии интенсивного пути, снова видим светлые перспективы роста широкополосности системы [2].

Технология WDM была разработана в 1958 году, но активно развивается в основном последние десять лет [3, 4]. Ее описание можно найти теперь во многих публикациях. Для более глубокого понимания этой технологии важно знать, что в WDM несущие генериру-

Н.Слепов
nsleпов@online.ru

ются отдельными источниками (лазерами) и что эти несущие затем модулируются внешними информационными сигналами, формируя модулированные по интенсивности световые потоки, которые и объединяются (суммируются) оптическим мультиплексором (ОМ) в единый многочастотный сигнал, подаваемый в ОВ (что будет рассмотрено ниже, рис. 2).

На заре развития технологии WDM процессу стандартизации ее основных параметров: шага между несущими, длины и числа пролетов (секций), бюджета оптической мощности – уделялось мало внимания, так как эта технология использовала в качестве источника сигнала выходной сигнал мультиплексора SDH, а длина пролета была привязана к длине одной из стандартных секций SDH [1]. Неудивительно, что среди систем WDM в то время можно было встретить системы с двумя каналами (1310 и 1550 нм, где разнос 240 нм диктовался только желанием сопрячь системы SDH, работающие с двумя стандартными несущими) или 5–7 каналами с шагом 3,2 или 1,6 нм, длина пролета и бюджет мощности которых не нормировался. О классификации самих систем WDM не было и речи.

Однако бурное развитие WDM привело к появлению первого, хотя и временного (класса draft) стандарта Международного союза электросвязи (МСЭ) G.mcs (1997), который впоследствии был одобрен (10.98) и опубликован в 1999 году как стандарт для многоканальных систем SDH с оптическими усилителями [5]. Этот стандарт рекомендовал использовать частотный план с шагом несущих 100 ГГц (0,8 нм) и больше, хотя в разработках новых систем WDM, которые уже именовались как плотные WDM, или DWDM (см. системы компании Ciena [3]), уже использовался шаг 50 ГГц (0,4 нм). Результатом дальнейшего развития оптической интегральной схемотехники стало уменьшение шага между несущими последовательно до 50, 25 и 12,5 ГГц, о чем в момент разработки первого стандарта можно было только мечтать.

И вновь, уже здесь, интенсивный путь развития систем DWDM (с точки зрения уменьшения шага между несущими частотами) зашел в тупик, так как к следующему этапу – уменьшению шага до 6,25 ГГц – будет очень трудно перейти не только из-за физических ограничений (температурной нестабильности частот несущих), но и из-за существенного удорожания таких сверхплотных систем WDM (HDWDM). Выходом из этого экономического тупика явилось использование нового класса систем WDM – *разреженных систем WDM*, или CWDM, которые используют очень большой и фиксированный шаг между несущими – 20 нм – и очень дешевые средства выделения этих несущих: многослойные тонкопленочные оптические фильтры. Реализация такого решения стала возможной благодаря резкому расширению оптической полосы использования систем WDM: от 1270 до 1610 нм, что было обусловлено успехами

в области создания ОВ, не имеющего пика поглощения на частоте 1383 нм.

Ниже будут рассмотрены в основном особенности технологии современной WDM, зафиксированные в трех недавно скорректированных или вышедших вновь версиях стандартов МСЭ [5-7], подытоживших первый этап развития систем WDM и позволивших провести классификацию ее систем и их основных параметров.

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ WDM С ТРАНСПОРТНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Первоначально несущие WDM использовались только для передачи трафика систем SDH. Системам WDM была уготована роль магистральных транспортных систем, работающих по схеме точка-точка. Однако каждая несущая в системах WDM принципиально могла передавать поток цифровых сигналов, сформированный по законам любой синхронной (для глобальных сетей) или асинхронной (для локальных сетей) технологии. Последнее объясняется тем, что она дает технологиям ЛВС физический уровень модели взаимодействия открытых систем OSI. В результате одна несущая может передавать ATM или IP, или Ethernet трафик ЛВС, другая – трафик SDH или PDH глобальных сетей и т.д. Для этого нужно лишь промодулировать конкретную несущую WDM соответствующим сигналом, т.е. иметь соответствующий интерфейс на входе систем WDM, которые считаются прозрачными для внешнего модулирующего сигнала, обеспечивающими ему передачу через физический уровень в канал связи (среду передачи).

Взаимодействие всех перечисленных технологий с транспортной технологией WDM можно описать с помощью некоторой на-



Рис. 1. Модель взаимодействия основных транспортных технологий

глядной многоуровневой модели. Ранее модель взаимодействия технологий SDH/SONET, ATM и IP с WDM была рассмотрена в работе [1], но нуждается в коррекции, так как сейчас к указанным технологиям нужно добавить Ethernet. В этом случае, с учетом возможности переноса IP трафика с помощью ATM, модель принимает вид, представленный на рис. 1. Она имеет четыре уровня, не считая оптической среды передачи. Из модели видно, что технология WDM обеспечивает технологиям ATM, Ethernet и IP *физический интерфейс* для выхода на физический уровень и далее в *оптическую среду передачи*.

Производители оборудования "старых глобальных технологий" SDH/SONET, желая продлить его моральный срок службы, также разработали все необходимые интерфейсы, используя свою альтернативу выхода на физический уровень и в среду передачи. Эта альтернатива основана на *технике инкапсуляции* ячеек ATM или кадров/пакетов Ethernet и IP в виртуальные контейнеры SDH или виртуальные трибы SONET [1]. Данная техника в настоящее время объединена под общим названием MSPP (Multiservice Provisioning Platform) – *платформа мультисервисного обеспечения*. Она позво-

ляет использовать одну сеть SDH/SONET для передачи разнородного трафика путем использования различных интерфейсных карт с мультисервисными протоколами и процедурами инкапсуляции такого трафика. Это продлевает жизнь технологиям SDH/SONET и увеличивает их конкурентоспособность по отношению к WDM, что важно, учитывая малую распространенность сетей WDM в России. Модель позволяет просмотреть и вариант двойного преобразования: (ATM, Ethernet и IP)→(SDH/SONET)→WDM, который повышает гибкость SDH в смешанных SDH-WDM сетях.

Ясно, что при прочих равных условиях использование WDM имеет очевидные преимущества в передаче трафика ATM, Ethernet и IP, так как не требует инкапсуляции ячеек/кадров/пакетов в промежуточный модуль (STM/STS), что упрощает процедуру обработки трафика, уменьшает общую длину заголовков, повышая процент информационной составляющей трафика и эффективность передачи в целом.

С точки зрения архитектурных решений системы WDM используют пока топологии "точка-точка" или "линейная цепь" для магистральной передачи. Такие системы имеют определенные стандартизованные конфигурации и оптические интерфейсы. Классификация этих интерфейсов была впервые приведена в рекомендации МСЭ G.692 [5]. Она сделана аналогично рекомендации МСЭ G.957 [8] для SDH и знаменовала собой этап становления WDM как самостоятельной технологии, а не магистрального транспортного придатка технологий SDH/SONET.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭТАЛОННЫХ ТОЧЕК ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

На рис. 2 приведена конфигурация системы WDM в соответствии со стандартом [5]. На рисунке отмечены следующие эталонные точки такой системы:

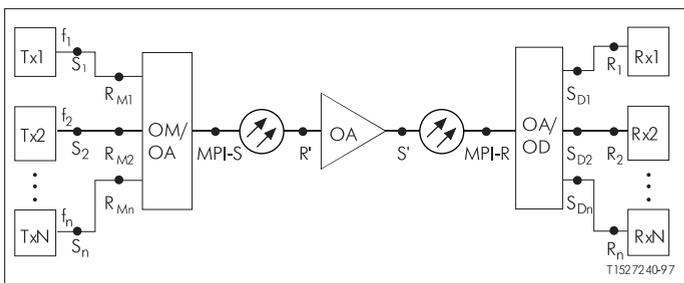


Рис.2. Оптические интерфейсы (эталонные точки) линейных систем WDM

- $S_1 \dots S_n$ – эталонные точки на ОВ у выходных оптических разъемов (ОР) передатчиков для каналов 1 ... n, соответственно;
- $R_{M1} \dots R_{Mn}$ – эталонные точки на ОВ непосредственно перед входными ОР блока оптического мультиплексирования/бустерного (мощного) усиления (ОМ/ОМУ) для каналов 1 ... n, соответственно;
- MPI-S (интерфейс основного маршрута/тракта в точке передатчика) – эталонная точка на ОВ сразу за выходным ОР блока ОМ/ОМУ;
- S' – эталонная точка сразу за выходным ОР линейного оптического усилителя (ЛОУ);
- R' – эталонная точка непосредственно перед входным ОР ЛОУ;
- MPI-R (интерфейс основного маршрута/тракта в точке приемника) – эталонная точка на ОВ непосредственно перед входным ОР блока предварительного оптического усиления/оптического демultipлексирования (ПОУ/ОД);
- $S_{D1} \dots S_{Dn}$ – эталонные точки у выходных ОР блока ПОУ/ОД для каналов 1 ... n, соответственно;

- $R_1 \dots R_n$ – эталонные точки у входных ОР приемников для каналов 1 ... n, соответственно.

Замечания к рис. 2:

1. Когда для реализации оптического передатчика T_x , соответствующего G.692, используется комбинация передатчика T_x , соответствующего G.957 [8], и следующего за ним оптического транспондера O/E/O, то эталонные точки S_n (определяемые в G.692) располагаются сразу за выходными разъемами транспондера O/E/O. В этом случае интерфейс S между передатчиком T_x (G.957) и транспондером O/E/O выбирается из набора спецификаций, определенных для точки S (G.957). Другими словами, последовательность блоков и интерфейсов в этом случае примет вид: T_x (G.957)→S (G.957)→O/E/O→ S_n (G.692).

2. Приведенная спецификация эталонных точек предусматривает возможность потерь как между точками $S_n - R_{Mn}$, так и между точками $S_{Dn} - R_n$ (минимальные потери равны нулю).

3. В случае, если передатчики и блок ОМ/ОМУ или же блок ПОУ/ОД и приемники технологически интегрируются в одном блоке, то исключается возможность доступа к интерфейсам в эталонных точках S_n, R_{Mn} или/и в точках S_{Dn}, R_n .

КЛАССИФИКАЦИЯ ОДНОПРОЛЕТНЫХ И МНОГОПРОЛЕТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕКЦИЙ

Согласно рекомендации ITU-T [5], стандартные конфигурации магистральных линейных систем WDM (использующих топологии: точка-точка и линейная цепь) разделены на две группы в зависимости от того, используются или нет усилители ЛОУ между терминальными мультиплексорами (ТМ). Линейные системы WDM делятся на секции вида:

- **однопролетные секции**, ограниченные расстоянием между двумя ТМ, не имеющими внутри ОУ или регенераторов (топология точка-точка);
- **многопролетные секции**, в которых длина пролета ограничена расстоянием между ТМ и ЛОУ, или между двумя ЛОУ, или между ЛОУ и регенератором, а длина секции в целом ограничена расстоянием между двумя ТМ или между ТМ и регенератором (топология линейная цепь).

Классификация конфигураций систем WDM в стандарте [5] проведена аналогично тому, как это сделано для систем SDH [1, 8]. Так, для систем, не использующих ЛОУ, предлагается классификация, приведенная в табл. 1, а для систем, использующих ЛОУ, – в табл. 2. В обоих случаях в качестве классификационных параметров используют число мультиплексируемых каналов, длину (класс) пролета и уровень модуля STM-N в иерархии SDH. Приведенные в таблицах расстояния условны и используются только для классификации, а не для расчетов.

Таблица 1. Классификация систем WDM, не использующих ЛОУ

Область использования	Длинная секция (длиной до 80 км)	Очень длинная секция (длиной до 120 км)	Сверхдлинная секция (длиной до 160 км)
4-канальные системы	4L-y.z	4V-y.z	4U-y.z
8-канальные системы	8L-y.z	8V-y.z	8U-y.z
16-канальные системы	16L-y.z	16V-y.z	16U-y.z

Таблица 2. Классификация систем WDM, использующих ЛОУ

Область использования	Длинный пролет (длиной до 80 км)		Очень длинный пролет (длиной до 120 км)	
	5 пролетов	8 пролетов	3 пролета	5 пролетов
4-канальные системы	4L5-y.z	4L8-y.z	4V3-y.z	4V5-y.z
8-канальные системы	8L5-y.z	8L8-y.z	8V3-y.z	8V5-y.z
16-канальные системы	16L5-y.z	16L8-y.z	16V3-y.z	16V5-y.z



В обеих таблицах применяются следующие шаблоны **кодов применения**: для однонаправленных (симплексных) систем nWx-y.z; для двунаправленных (дуплексных) систем B-nWx-y.z.

Приведенные символы означают: n – число используемых длин волн; W – показатель длины однопролетной секции/пролета (принимающий значение: L (long-haul) – длинная секция/пролет; V (very long-haul) – очень длинная секция/пролет; U (ultra long-haul) – сверхдлинная секция/пролет); x – число перекрытий, допустимых в рамках данного кода применения (для систем, не использующих ЛОУ, x=1, и этот элемент кода опускается); y – скорость передачи сигнала на одной длине волны, выраженная в уровнях STM: 4 – STM-4, 16 – STM-16, 64 – STM-64; z – тип волокна, представленный кодом: 2/3/5 – соответствуют волокнам типа G.652/G.653/G.655; B – обозначение двунаправленной (дуплексной) системы.

Включение в классификацию на данном этапе (стандарт одобрен 10.98, выпущен в 1999 году, две вышедшие впоследствии коррекции относятся к частотному плану, а не к интерфейсам) систем с 16 длинами волн отражает только состояние работ над стандартом [5], а не возможности систем WDM. Предполагается, что таблицы могут быть продолжены, видимо, по схеме (32, 64, 96, 128, 160, 192, 256). Вместе с тем, даже 16 каналов, при использовании сигнала STM-64 в каждом канале, позволяют реализовать гарантированную емкость канала на одном ОВ в 160 Гбит/с, что уже больше того, что могут дать промышленные системы SDH уровня STM-256, которые только начинают внедряться (предъявляя при этом более высокие требования к ОВ).

В табл.2 показано, что максимальная длина регенераторной секции может теперь гарантированно выбираться равной 600 км (5 очень длинных пролетов ОДП) или 640 км (8 длинных пролетов ДП). В этом плане важно указать, для каких условий затухания выбранного ОВ и при какой накопленной дисперсии данные типы пролетов и однопролетных секций могут быть реализованы.

В стандарте G.692 указано, что при расчете длин пролетов предполагалось, что среднее затухание ОВ в кабеле (с учетом кабельных сростков и гарантированного удельного запаса в бюджете мощности) составит не более 0,28 дБ/км в диапазоне длин волн 1528–1565 нм. Такое затухание приводит к возможным потерям на уровне 11 дБ на 40 км, а значит, и к необходимости компенсировать их в бюджете мощности, что и отражено в таблице максимальной допустимых потерь для секций/пролетов с различными кодами применения, как без ОЛУ, так и с ОЛУ (табл. 3).

Таблица 3. Допустимые потери для секций/пролетов с различными кодами применения

Код применения	nL-y.z	nV-y.z	nU-y.z	nLx-y.z	nVx-y.z
Максимальное затухание, дБ	22	33	44	22	33

При расчете допустимых значений накопленной на длине однопролетной или многопролетной секции дисперсии (включающей все типы дисперсий) в стандарте G.692 предполагалось, что ОВ имеет дисперсионный параметр в указанном выше диапазоне длин волн порядка 20 пс/нм/км (т.е. фактически то, что дает стандартное ОВ типа G.652). Соответствующие значения допустимой накопленной дисперсии на длине однопролетных секций и пролетов различного типа указаны в табл. 4.

Таблица 4. Допустимая накопленная дисперсия для секций/пролетов с различными кодами применения

Код применения	L	V	U	nV3-y.2	nL5-y.2	nV5-y.2	nL8-y.2
Максимальная дисперсия, пс/нм	1600	2400	3200	7200	8000	12000	12800

Таблица 5. Стандартный частотный план с шагом несущих 50 ГГц

f , ТГц	196,10	196,05	196,00	195,95	195,90	...	192,30	192,25	192,20	192,15	192,10
λ , нм	1528,77	1529,16	1529,55	1529,94	1530,33	...	1558,98	1559,39	1559,79	1560,20	1560,61

ЧАСТОТНЫЙ ПЛАН СИСТЕМ С WDM

Системы WDM первоначально объединяли в одном ОВ две несущие – 1310 и 1550 нм (2 и 3 окон прозрачности), что удваивало емкость системы. Ряд исследователей называл такие системы *широкополосными WDM* (шаг по длине волны – 240 нм) в противовес *узкополосным WDM* (шаг в которых сначала был на порядок ниже, что давало возможность разместить в окне 1550 нм четыре канала). Такое деление систем на данный момент устарело.

В настоящее время сформировалось новое понятие и класс *широкополосных систем WDM*, перекрывающих в смежных окнах прозрачности (3 и 4) полосу порядка 82 нм (1528–1610 нм). Этот класс используется системами так называемого **плотного волнового мультиплексирования – DWDM**.

Однако действительно широкополосные системы уже сейчас могут перекрывать полосу 340 нм (1270–1610 нм), если используют ОВ компаний Corning или OFS (устраняющие пик поглощения "OH" в области 1383 нм). Эти системы, получившие название **расширенных систем WDM**, или **CWDM**, используют шаг между несущими 20 нм и разработаны для снижения стоимости систем WDM.

Несмотря на отсутствие полной взаимной совместимости оборудования разных производителей систем WDM, необходимо было с самого начала стандартизовать номинальный ряд несущих, сформировав так называемый "**частотный план**". Он играет для систем WDM ту же роль, что и цифровые иерархии PDH и SDH для одноименных систем, дает производителям ориентир на будущее, позволяет позиционировать уже существующие системы WDM. Эта задача в первом приближении была решена выпуском стандарта G.692 в редакции, датируемой 10.98 [5].

СТАНДАРТНЫЙ ЧАСТОТНЫЙ ПЛАН

Первоначально в основу стандарта [5] был положен частотный план с равномерным расположением несущих частот каналов и минимальным **шагом несущих** в 100 ГГц, что позволяло в *стандартизованном диапазоне* $\Delta_{CT}=4,1$ ТГц (192,10–196,10 ТГц) разместить максимально 41 канал (от 1528,77 до 1560,61 нм, $\lambda=c/f=2,99792458 \cdot 10^{17}/f$ [нм/Гц], шаг по λ получается переменным 0,78–0,80 нм). Затем стандарт был доработан и шаг был уменьшен до 50 ГГц, что позволяло разместить максимально уже 81 канал (табл. 5).

При шаге 100 ГГц получим частный случай табл. 5, где фигурирует каждая вторая несущая. Аналогично можно получить частные случаи табл. 5 для шага: 200 ГГц (шаг по λ ~1,6 нм), 400 ГГц (~3,2 нм), 600 ГГц (~4,8 нм) и 1,0 ТГц (~8,0 нм).

Весь стандартный диапазон Δ_{CT} был поделен на два поддиапазона: S (Short band, короткие длины волн) и L (Long band – длинные волны). Выбор того или иного поддиапазона диктуется достижимой в нем неравномерностью АВХ. Более предпочтителен для ОУ типа EDFA поддиапазон L.

Дальнейшее уменьшение стандартного шага несущих до 25 ГГц (161 несущая с шагом ~0,2 нм) и даже до 12,5 ГГц (321 несущая с шагом ~0,1 нм) было предложено разработчиками G.692 во второй коррекции (Corr. 2 [5]) стандарта. Эта коррекция и новая редакция частотного плана были оформлены в виде нового стандарта G.694.1 [6], который фактически узаконил уже объявленные рядом ведущих производителей системы со 160–320 каналами. На этом интенсив-

ный путь развития систем WDM, основанный на уменьшении шага несущих, можно, видимо, считать завершенным.

РАСШИРЕННЫЙ ЧАСТОТНЫЙ ПЛАН

Расширения числа каналов систем DWDM можно было также достичь экстенсивным путем, основанным на расширении стандартного диапазона Δ_{CT} вправо, до 1612,65 нм от первоначально используемого, что позволяет довести Δ_{CT} до 10,2 ТГц (84 нм) за счет использования четвертого окна прозрачности (~1600 нм).

В результате расширенный частотный план оказался бы разбитым так, как показано на рис. 3.

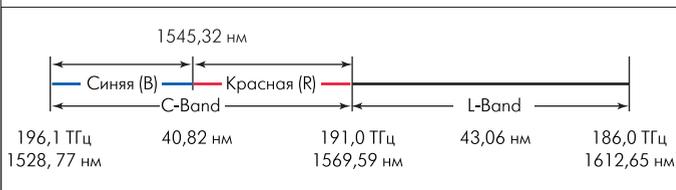


Рис.3. Схема расширенного частотного плана

Дальнейшее расширение используемой полосы частот для реализации большего числа каналов возможно только влево от 196,1 ТГц, в область так называемого пятого окна прозрачности, чтобы использовать всю доступную полосу 1270–1610 нм (340 нм).

Трудно представить, что все это пространство будет заполнено несущими.

Частоты несущих (в ТГц), в рамках любого из оптических окон, для этого расширенного плана могут быть получены с помощью обобщенной формулы:

$$f = 193,1 \pm n \times f_s,$$

где f_s – шаг частотной сетки в ТГц, а n – целое число: 0, 1, 2, ... m .

Использование такого малого шага, как 12,5 ГГц, требует определенных усилий для поддержания стабильной частоты (длины волны) несущей, температурные изменения которой должны находиться внутри поля допусков, установленных стандартами. Хотя в рекомендации ITU-T G.692 такие допуски Δf приведены только для скорости передачи 2,5 Гбит/с для шага частотной сетки 100, 50 и 25 ГГц, они могут быть получены на основании общего неравенства [5], которое должно соблюдаться при выборе шага частотной сетки f_s :

$$4\Delta f \leq f_s - 2B.$$

Здесь B – битовая скорость в Гбит/с, все параметры в ГГц.

С учетом данных для скорости 2,5 Гбит/с и расчетов на основе этого неравенства получим следующие оценки верхней границы допусков на флуктуацию (+/-) несущих f_s , приведенные в табл. 6.

Таблица 6. Верхняя граница допуска на флуктуацию несущих

Шаг частотного плана, ГГц	100	50	25	12,5
Скорость передачи 2,5 Гбит/с	23	11	5	1,8
Скорость передачи 10 Гбит/с	20	7	1,2	–
Скорость передачи 40 Гбит/с	5	–	–	–

Из таблицы видно, что указанные в ней границы допусков вполне приемлемы для соответствующих скоростей, учитывая, что точность поддержания несущих для лазерных источников излучения на сегодняшний день меньше 1 ГГц [5], а наиболее оптимальным, с точки зрения достижения максимальной полосы пропускания си-



стемы WDM, на данный момент является использование скорости 10 Гбит/с с шагом по частоте 25 ГГц. Достижимая при этом полоса в расчете на расширенный частотный план составит 4 Тбит/с.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ С WDM

Схема расширенного частотного плана позволяет предложить следующую современную схему классификации:

- разреженные WDM – CDWM – системы с шагом по длине волны 20 нм, работающие в полосе 1270–1610 нм;
- обычные WDM – WDM-системы с шагом несущих по частоте более 200 ГГц, позволяющие мультиплексировать не более 16 каналов;
- плотные WDM – DWDM-системы с шагом несущих по частоте от 200 до 50 ГГц;
- высокоплотные WDM – HDWDM-системы с шагом по частоте меньше 50 (25 и 12,5) ГГц; эта градация систем стандартами не предусмотрена, но часто используется в публикациях специалистов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ WDM

В настоящее время еще используется определенное количество 4–8-канальных систем WDM. Их можно условно отнести к системам второго поколения (кроме некоторых).

В 1997–1999 годы были разработаны системы третьего поколения, основанные на стандартном частотном плане и имеющие 32, 64, 128 или больше каналов. В настоящее время начался этап их повсеместного внедрения. Характерная особенность этого этапа – использование принципа "увеличение числа каналов по мере роста

трафика". Такой подход учитывается разработкой интерфейсных карт, рассчитанных на различное число портов (4, 8, 16), или возможностью установки нужного числа однотипных карт с фиксированным числом портов. Этим обуславливается и то, что системы, формально анонсированные как 160/320-канальные, фактически реализуются как 4-8-16-канальные с возможностью последующего наращивания числа каналов.

В табл. 7 приведен список известных автору промышленных систем WDM/CWDM/DWDM разных производителей. Данные, представленные в таблице, в целом демонстрируют, во-первых, рост уровня оборудования WDM по сравнению с данными, приведенными в работах [1, 3], а также разницу в классах систем различных производителей. Эта разница заключается, прежде всего, в следующем:

- максимально возможное число каналов – 160–240–320;
- дистанция, покрываемая системами – 4000–4500 км;
- число используемых пролетов в секции – 20–30–60;
- возможность организации не только кольцевых, но и ячеистых топологий;
- возможность оптического ввода и вывода большего числа несущих на транзитных узлах;
- обязательное использование отдельного оптического управляющего канала, а также специальных систем управления OSS и TMN.

Общая максимальная емкость в расчете на одно волокно для наиболее продвинутых систем составляет в настоящее время 1,6–3,2 Тбит/с, это выше того, что было раньше. Лидерами являются те же компании – Alcatel, Lucent, Nortel, Siemens.

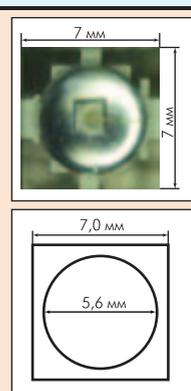


Мощные светодиоды фирмы COTCO

Известный производитель сверхъярких светодиодов COTCO (Гонконг) сообщает о начале серийного выпуска 1-Вт светодиодов серии DORADO. Основные области их применения – автомобильная электроника; сигнальные и аварийные фонари; системы подсветки архитектуры, бассейнов и фонтанов; реклама.

Наименование	Цвет	Световой поток (мин./тип.), лм	Угол излучения, град.	Ток (ном./имп.), мА	Рассеиваемая мощность, Вт *
LD-701AHR1-A0	Красный 624 нм	5/8	100	150/300	0,33
LD-701AYL1-A0	Желтый 590 нм	7/10	100	150/300	0,33
LD-700ABG1-D0	Сине-зеленый 505 нм	21/31	140	300/500	1
LD-700ABL1-D0	Синий 470 нм	6/9	140	300/500	1
LD-700AWN1-70	Белый	9/15	70	300/500	1

* Светодиоды, учитывая их большую мощность, обязательно должны быть снабжены теплоотводом. Рабочий диапазон температуры светодиодов -20–80°C.



Основные достоинства диодов серии DORADO:

- Исполнение QFN.
- Малые размеры – 7x7 мм.
- Большая светоотдача с маленькой площади.
- Допустимая температура пайки – до 240°C.

Как и вся продукция COTCO, светодиоды DORADO подвергаются полному компьютерному тестированию и при упаковке сортируются по рангам (RANK) в соответствии с интенсивностью излучения, длиной волны и прямым рабочим напряжением.

Ориентировочная цена в России на красные и желтые светодиоды – 1 доллар США.

Таблица 7. Промышленные системы, использующие оборудование WDM/DWDM

Компания	Модель	Тип частотного плана	Масштаб секции, км	Число каналов данных	Тип	BER	Емкость волокна, Тбит/с	Число каналов Вв.–Выв.	Секция - пролеты		
									Число	Бюджет, дБ	Длина, км
Adva Optical Solutions, США	FSP 2000	CWDM/DWDM	н/д	32	D	н/д	0,8	н/д	н/д	н/д	н/д
	FSP 3000	CWDM/DWDM	н/д	32	D	н/д	3,2	н/д	н/д	н/д	н/д
Alcatel, Франция	1626 LM	DWDM	LH/ULH	192	S	н/д	1,92	н/д	н/д	н/д	н/д
	1640 WM	DWDM	LH	80/160/240	S	н/д	0,8/1,6/2,4	8(4+4)	10/13	25	н/д
	1686 WM	DWDM	LH	32	S	н/д	0,32	16(8+8)	1/6/8	н/д	180
	1692 MSE	CWDM	ME	8	S	н/д	0,02	8	1	н/д	н/д
	1696 MS	DWDM	M	32/64	D/S	н/д	0,08/0,16	2/4/8	1	18	н/д
Ciena, США	CoreStream	DWDM	LH	96/192	S	10 ⁻¹⁵	1,92	н/д	8–30	20/25	н/д
	MultiWave Sentry 4000	DWDM	LH	40	S	10 ⁻¹⁵	0,1	н/д	2/3/5/7	33/30/25/20	264–560
	MultiWave Sentry 1600	DWDM	LH	16	S	10 ⁻¹⁵	0,04	н/д	4/5/8	33/30/25	528–800
	MultiWave Metro	DWDM	MC	24	D	10 ⁻¹⁵	0,24	н/д	н/д	н/д	н/д
	Online Metro	DWDM	LH	33/66	D/S	10 ⁻¹⁵	0,33/0,66	н/д	н/д	н/д	н/д
Cisco, США	Online Edge	CWDM	(2, 15)	8/16	S	10 ⁻¹⁵	0,02/0,04	2	н/д	н/д	н/д
	ONS 15800	DWDM	LH/ELH	64	S	н/д	0,64	8/12/24/32	5	25	120
	ONS 15801	DWDM	LH/ELH	64	S	н/д	0,64	4	5	27	120
	ONS 15808	DWDM	LH/ELH	(160)/80/40	S	н/д	0,8/0,4	8/20	5/20	25/22	120/100
	ONS 15201	WDM/DWDM	ME	16/32	S	н/д	0,032	н/д	н/д	н/д	н/д
	ONS 15216	WDM/DWDM	MC	16/20/32/40	S	н/д	0,04	н/д	н/д	н/д	н/д
	ONS 15252	WDM/DWDM	MC	16/32	S	н/д	0,032	н/д	н/д	н/д	н/д
	ONS 15454	DWDM	ME, SPoP	8/16/32/64	D/S	н/д	0,64	1/2/4	7	22	130/150
	ONS 15530/15540	DWDM	ME	32	S	н/д	0,32	4/8	н/д	н/д	н/д
	Metro 1500	WDM/DWDM	M	32	S	н/д	0,08	Optional	1	21/26	25–80
ECI, Израиль	XDM-200	CWDM	M	16	S	н/д	0,04	н/д	1	н/д	100
	XDM-500	DWDM	MC, ME	80	S	н/д	0,8	н/д	н/д	н/д	н/д
	XDM-1000	DWDM	MC	80	S	н/д	0,8	н/д	н/д	н/д	н/д
	XDM-2000	DWDM	MC	80	S	н/д	0,8	н/д	н/д	н/д	н/д
Ericsson, Швеция	SmartPhotoniX Multihaul (Ericsson-Marconi)	DWDM	LH/ELH/ULH	80	S	н/д	0,8; 1,6	16(8+8)	1/5/7/9/24	57/63; 25	н/д
Fujitsu, Япония	Flashwave 7200 (TPR)	DWDM	SH/LH	32	S	н/д	0,32	н/д	н/д	н/д	н/д
	Flashwave 7300	DWDM	SH/LH	176	S	н/д	1,76	н/д	н/д	н/д	н/д
	Flashwave 7600	DWDM	LH/ULH	32	D	н/д	0,32	н/д	1/N	н/д	н/д
	Flashwave 7700	DWDM	ULH	80/176	D/S	н/д	0,8; 1,76	н/д	1/N	н/д	н/д
Lucent, США	WaveStar OLS 1,6T	DWDM	LH	160	S	10 ⁻¹⁶	1,6	4/40	1	н/д	1020
	LambdaXtreme Transport	DWDM	ULH	64/128	S	н/д	2,56/1,28	н/д	1	н/д	4000/1000
	Metropolis EON	DWDM	MC	32/64	D/S	н/д	0,32/0,64	32	1	н/д	н/д
	Metropolis WES	passive DWDM	MC	8/16/32	D/S	н/д	0,08/0,16/0,32	1/2/4	1	н/д	н/д
Metropolis Passive WDM System	passive DWDM	ME	8/16/32	D/S	н/д	0,08/0,16/0,32	1/2/4	1(2,5/10Г)	н/д	65/45	
Marconi, Великобритания	SmartPhotoniX Multihaul	DWDM	LH/ELH/ULH	80	S	н/д	0,8; 1,6	16(8+8)	1/5/7/9/24	57/63; 25	н/д
	PLx 40/80/160	DWDM	LH	40/80/160	S	н/д	0,4;0,8;1,6	4/8	до 15	до 44	н/д
	PLx 40/80	DWDM	LH	40/80	S	н/д	0,4/0,8	4/8	н/д	н/д	н/д
	Multi-Layer Switch (MLS)	DWDM	LH	160	S	н/д	1,6	н/д	н/д	н/д	н/д
	SmartPhotoniX PMM	WDM/DWDM	MC	32/20	S	н/д	0,32	н/д	1	н/д	180/40(окр)
	SmartPhotoniX PMA32	OADM(colored)	ME	2x32	S	н/д	2x0,32	2x32	1	12/20/23/25	н/д
NEC, Япония	SmartPhotoniX UPLx160	DWDM	ULH	160	S	н/д	1,6	40	20–60	н/д	н/д
	SpectralWave 40/80	DWDM	LH/ELH	40/80	S	н/д	0,4/0,8	12(6+6)	н/д	н/д	н/д
	SpectralWave MW1000	DWDM	ME	8/32	S	н/д	0,02/0,08	н/д	1	н/д	100(окруж)
Nortel, Канада	OPTera Connect HDX	DWDM	ELH/ULH	64	S	н/д	0,64	н/д	н/д	н/д	н/д
	OPTera Connect DX (OSw)	DWDM	SR/LR	32	S	н/д	0,14	н/д	н/д	н/д	н/д
	OPTera Metro 5100, 5200	DWDM	M	32/64	D/S	н/д	0,32/0,64	н/д	н/д	н/д	н/д
	OPTera Metro 3500	DWDM	M	24/48	D/S	н/д	0,24/0,48	н/д	н/д	н/д	н/д
	OPTera Long Haul DT	DWDM	LH	н/д	н/д	10 ⁻¹⁵	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
OPTera Long Haul 1600	DWDM	LH	80/320	D/S	10 ⁻¹⁵	0,8/3,2	+	1/N	н/д	350/н/д	
Pirelli, Италия	P-MAS	CWDM	M/MC	8/16	D/S	н/д	0,04	н/д	н/д	н/д	н/д
Siemens, Германия	Infinity WLS	DWDM	M	32	S	н/д	0,32	н/д	1	н/д	400
	WaveLine EL1/2 (FSP-2000)	CWDM,DWDM	M/MC	4/32	S	н/д	0,32	н/д	1	н/д	100
	WaveLine MN (FSP-3000)	DWDM	MC	32/64	D/S	н/д	0,64	н/д	1	н/д	н/д
	TransXpress FSP500	WDM	ME	4	S	н/д	0,01	н/д	1	29	95
	Surpass hiT 7550	DWDM	LH/ULH	160/80	S	н/д	1,6/3,2	160/80	1/N	н/д	500/800

Тип частотного плана: CWDM – Разреженная система волнового мультиплексирования; DWDM – Плотная система волнового мультиплексирования; HDWDM – Высокоплотная система волнового мультиплексирования; WDM – Система волнового мультиплексирования. **Масштаб секции:** CPE – Customer Premises Equipment – оборудование в офисе клиента; ELH – Extended Long Haul – расширенная длинная секция; ER – Extended Reach (то же, что и ELH/ULH – сверхдлинная секция); LH – Long Haul – длинная секция; LR – Long Reach (то же, что и LH); M – Metropolitan system – система класса Метро; MC – Metropolitan Core system – система класса Метро, магистральная; ME – Metropolitan Edge system – система класса Метро, краевая; SH – Short Haul – короткая секция; SPoP – Service Point of Presence – сервисная точка присутствия; SR – Short Reach (то же, что и SH) или Standard Reach (то же, что и LH); ULH – Ultra Long Haul – сверхдлинная секция. **Типы поддерживаемых логических интерфейсов:** 10GE – 10 Gigabit Ethernet (стандартный интерфейс LAN, скорость 10 Гбит/с); ATM – Asynchronous Transfer Mode (интерфейс ATM со скоростью используемого канала SONET/SDH); BTDS – Bit Transparent Data Service/Bit Rate Independent (передача данных, не зависящая от скорости); DV – Digital D1 Video (передача цифрового видео типа D1); E – Ethernet (стандартный интерфейс LAN, скорость 10 Мбит/с); ESCON – Enterprise System Connection (стандартный интерфейс IBM, скорость 200 Мбит/с); FC – Fiber Channel (стандартный оптический интерфейс ввода/вывода, скорости 1, 2 до 4,25 Гбит/с);



Топология	Длина секции, км	Скорость входных данных (М/Г), бит/с	Шаг несущих, ГГц/нм	Занимаемая полоса, нм или С, L, S	Тип поддерживаемых логических интерфейсов	Управление	
						SNMP IP/OSS	TMN
Т-Т, л.ц., к	н/д	8 М – 2,5 Г	0,8/1,6/20	н/д	ATM, FE, GE, 10GE, FC, ESCON, FDDI, FICON, STM-1/4/16, OC-1/3/12/192	+	+
Т-Т, мт-мт, лц, к	н/д	100 М – 10 Г	0,8/1,6/20	н/д	ATM, FE, GE, 10GE, FC, ESCON, FDDI, FICON, STM-1/4/16/64, OC-1/3/12/192	+	+
Т-Т, Т-МТ	4500	1 Г – 10 Г	50	С-расшир.	GE, 10GE, STM-16/64	н/д	+
Т-Т, к, лц	960	100 М – 10 Г	50	С+L	ATM, GE, FR, STM-16/64/(256)	н/д	+
Т-Т, мт-мт, к	700	0,1–1,25; 2,5–10Г	50	С	ATM, IP, STM-16/64	+	+
Т-Т, к, лц	н/д	16 М – 2,5 Г	20 нм	С	ATM, FE, GE, FC, ESCON, FICON, STM-1/4/16	+	н/д
Т-Т, к, лц	н/д	16 М – 10 Г	100	С-расшир.	ATM, DV, FE, GE, FC, ESCON, FICON, STM-1/4/16/64	+	+
н/д	н/д	1 Г – 10 Г	н/д	С	GE, 10GE, STM-4/16/64	+	Q3
н/д	264–560	622 М – 2,5 Г	50	С	STM-4/16	+	Q3
н/д	528–800	50–1,7Г(асинх); 2,5 Г	50	С	STM-4/16	+	Q3
н/д	н/д	100М–2,5Г; 155М–10Г	200	С	ATM, DV, GE, FC, ESCON, FICON, STM-1/4/16/64;(асинх)	+	Q3
н/д	н/д	100М–2,5Г; 155М–10Г	100	С	ATM, DV, GE, FC, IP, ESCON, FICON, STM-1/4/16/64;(асинх)	+	Q3
Т-Т, лц, к2	н/д	100М–2,5Г	20 нм	С	ATM, DV, GE, FC, IP, ESCON, FICON, STM-1/4/16;(асинх)	+	н/д
Т-Т, к, лц, я	600	100 М – 10 Г	50	1529–1602	ATM, IP, STM-4/16/64	н/д	+
Т-Т, к, лц, я	600	100 М – 10 Г	50	1529–1602	ATM, IP, STM-4/16/64	н/д	+
Т-Т, к, лц, я	600/2000	100 М – 10 Г	50 (25)	С, L	ATM, IP, STM-16/64	н/д	+
Т-Т, к, лц, я	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
Т-Т, к, лц, я	н/д	10–1Г	100/200	1530–1562	Ethernet	+	н/д
Т-Т, к, лц, я	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
Т-Т, к, лц	600	150 М – 10 Г	50/100	1530–1561	FC, D1, GE, 10GE, HDTV, STM-1/4/16/64	+	+
Т-Т, к, лц, я	н/д	16 М – 10 Г	100	1530–1561	FC, FE, GE, FDDI, ESCON, FICON, STM-1/4/16	+	+
Т-Т	25–80	10 М – 2,5 Г	100/200	1532–1559	FC, GE, T3, E3, TR, ATM, OC-24, STM-1/4/16	+	+
Т-Т, к, лц	100	100 М – 2,5 Г	20 нм	н/д	FE, GE, FC, ATM, IP, FICON, SDH	+	н/д
Т-Т, к, лц, з, м	1500	2 М – 10 Г	200–50	н/д	ATM; IP; E, FE, GE, SAN; PDH; STM-1/4/16/64	+	+
Т-Т, к, лц, з, м	1500	2 М – 10 Г	200–50	н/д	ATM; IP; E, FE, GE, SAN; PDH; STM-1/4/16/64	+	+
Т-Т, к, лц, з, м	1500	2 М – 10 Г	200–50	н/д	ATM; IP; E, FE, GE, SAN; PDH; STM-1/4/16/64	+	+
Т-Т, лц, м, к2, 4	700–4000	270 М – 10 Г	50	С, L, C+L	DV; FC, GE, 10GE, STM-4/16/64	+	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	до 10 Г	100	С, L	BTDS, GE, 10GE, STM-1/4/16/64	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	до 40 Г	100/50	С, L	BTDS, GE, 10GE, STM-16/64/256	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	200/600	до 10 Г	100/50	С, L	BTDS, GE, 10GE, STM-1/4/16/64	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	2000	до 10 Г	50	С, L, C+L	BTDS, GE, 10GE, STM-1/4/16/64/256	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	100 М – 10 Г	50	С+L	GE, 10GE, ESCON, FICON, IP, ATM, PDH, SONET/SDH	+	+
Т-Т, к, лц, м	4000/1000	2,5 – 40 Г	50	С+L	IP, ATM, PDH, SONET/SDH	+	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	16 М – 2,5 Г	50	н/д	GE, 10GE, ESCON, FICON, IP, ATM, PDH, SONET/SDH	+	н/д
Т-Т, к, лц, м	н/д	16 М – 10 Г	50	н/д	GE, 10GE, DV, ESCON, FICON, IP, ATM, PDH, SONET/SDH	+	н/д
Т-Т, к, лц, м	45/65	16 М – 10 Г	50	н/д	GE, 10GE, DV, ESCON, FICON, PDH, SONET/SDH	+	н/д
Т-Т, лц, м, к2, 4	700/1500/4000	100 М – 10 Г	50	С, L, C+L	DV; FC, GE, 10GE, STM-4/16/64	+	+
Т-Т, к, лц, м	1500	100 М – 10 Г	100, 50	С, L, C+L	GE, 10GE, ESCON, FICON, PDH, SONET/SDH	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	100 М – 10 Г	100, 50	С, L	GE, 10GE, ESCON, FICON, PDH, SONET/SDH	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	100 М – 10 Г	50	С, L, C+L	GE, 10GE, ESCON, FICON, PDH, SONET/SDH	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	180/40(в окруж.)	100 М – 10 Г	200, 100	С	GE, 10GE, DV, ESCON, FICON, IP, ATM, PDH, SONET/SDH	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	2,5 – 10 Г	100	С	FC, GE, 10GE, STM-1/4/16/64	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	3000	2,5 – 10 Г	50	С, L, C+L	SONET/SDH (STM-16/64)	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	1 – 10 Г	50	С, L, C+L	GE, SONET/SDH (STM-16/64)	н/д	+
Т-Т, к, лц, м	100(в окружности)	1 – 2,5 Г	50	С, L	GE, SONET/SDH (STM-16)	н/д	+
Т-Т, лц, м, к2, 4	н/д	155 М – 40 Г	100/50	С, L, C+L	н/д	н/д	н/д
Т-Т, лц, м, к2, 4	н/д	155 М – 10 Г	н/д	н/д	GE, SONET/SDH (STM-1/4/16/64)	OSS	н/д
Т-Т, к, лц, м	н/д	16 М – 10 Г	200/100	С, L, C+L	FE, GE, 10GE, DV, ESCON, FICON, FC, FDDI, PDH, OC-24, SONET/SDH	IP	+
Т-Т, к, лц, м	н/д	10 М – 10 Г	н/д	н/д	GE, Eth, FE, PDH, SONET/SDH (STM-1/4/16/64)	н/д	н/д
н/д	1500	н/д	н/д	н/д	GE, 10GE, IP, ATM, PDH, SONET/SDH	н/д	н/д
Т-Т, к, лц, м	н/д	н/д	н/д	н/д	GE, 10GE, IP, ATM, PDH, SONET/SDH	н/д	н/д
Т-Т, лц, к2	н/д	до 2,5 Г	20нм	н/д	ATM, GE, FC, ESCON, FICON, SONET/SDH(STM-4/16)	OSS	н/д
Т-Т, лц, к	400	2,5 – 10 Г	100	н/д	ATM, IP, GE, SONET/SDH(STM-16/64)	+	Q3
Т-Т, лц, к	100	10 М – 10 Г	200/20нм	н/д	ATM, Eth, FE, GE, 10GE, FC, ESCON, FICON, CL	+	+
Т-Т, лц, к	н/д	до 10 Г	100	н/д	ATM, FE, GE, 10GE, FC, ESCON, FICON, IP, STM-1/4/16/64	+	+
н/д	95	10 М – 2,5 Г	н/д	н/д	ATM, Eth, FE, GE, FC, STM-1/4/16	+	+
Т-Т, лц, к	3000/1500	100 М – 10 Г	50	н/д	BTDS, GE, 10GE, STM-16/64/256	+	+

FDDI – Fiber Distributed Data Interface (стандартный интерфейс LAN, скорость 100 Мбит/с); FE – Fast Ethernet (стандартный интерфейс LAN, скорость 100 Мбит/с); FICON – Fiber channel Connection (соединение с помощью ОВ канала); GE – Gigabit Ethernet (стандартный интерфейс LAN, скорость 1 Гбит/с); HDTV – High Definition Television (интерфейс для ТВ высокой четкости обычно на скорости OC-1); IP – Internet Protocol (протокол, реализующий пакетную передачу по сети Internet); OC-*n* – Optical Carrier (интерфейс SONET, скорость соответствует указанному уровню иерархии); PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy (интерфейс PDH обычно на скорости 140 Мбит/с); STM-*n* – Synchronous Transport Module (интерфейс SDH, скорость соответствует указанному уровню иерархии); CL – Coupling Link – звено связи. **Примечания, обозначения:** С – занимаемая полоса: 1529–1562 (1530–1561) нм; С-расширенная, занимаемая полоса: 1529–1570 нм; L – занимаемая полоса: 1570–1610 нм; S – занимаемая полоса: 1450–1490 нм; OSS – система поддержки функционирования сети; SMF/MMF – OM OB/MM OB; SSF/NZDSF – стандартное OM OB/OM OB с ненулевой смещенной дисперсией; з – топология "звезда"; к – топология "кольцо"; к2 – топология "двойное кольцо с защитой"; к4 – топология "сдвоенное двойное кольцо с защитой"; мт-мт – топология "многоточка-многоточка"; т-т – топология "точка-точка"; т-мт – топология "точка-многоточка"; я – топология "ячеистой сети"; Вв/Выв – ввод/вывод каналов на промежуточных узлах; Допуск – максимальная накопленная дисперсия секции ВОСП.

Новые системы имеют больше логических интерфейсов и позволяют работать с сигналами различных форматов, характерных для технологий LAN/MAN: ATM, FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet (GE), 10-gigabit GE (10GE), и широко используют интерфейсы связи с ПК (Fiber Channel – FC и FICON) и мини-компьютерами (ESCON).

Поясним используемые в табл. 7 параметры систем.

Тип частотного плана – соответствует введенной выше классификации систем: WDM, DWDM, CWDM (иногда с пометкой “пассивные”) либо указывает на системы с оптическими мультиплексорами ввода/вывода OADM, имеющими так называемые “цветные интерфейсы” с несколькими λ ;

Тип секции – соответствует типу секции или односекционной системе и ее месту в иерархии архитектур оптических транспортных сетей (OTN); это могут быть односекционные системы городских сетей: магистральная (MC), краевая (ME), или секции класса: короткая (SR), длинная (LH/LR), расширенная длинная (ELH), сверхдлинная (ULH) или сервисная точка присутствия (SPoP);

Число каналов данных – через черту указаны: либо число каналов в дуплексном и симплексном вариантах, либо число каналов, соответствующих вариантам исполнения системы; минимальное число каналов определяется числом портов на интерфейсной карте;

Типы систем – дуплексные (D), две несущие на канал, и полудуплексные (S), одна несущая на канал; если указано число каналов n без указания типа системы, то считается, что система может работать как симплексная с n каналами или как дуплексная с $n/2$ каналами;

BER – уровень битовых ошибок в канале; стандартные системы SDH/SONET имеют BER порядка 10^{-10} – 10^{-12} , однако современные системы WDM используют специальные методы помехоустойчивого кодирования (например, коды Рида–Соломона), позволяющие достичь уровня BER порядка 10^{-15} – 10^{-16} ;

Число каналов ввода-вывода – показывает возможность реализовать оптический ввод/вывод каналов в схеме вторичного оптического мультиплексирования, осуществляемого в WDM; это пока достаточно сложно [1], так что ряд систем WDM вообще не реализует эти опции, обеспечивая работу только в режиме точка-точка (т-т), либо ограничивая число таких каналов (например, 4 из 16, 8 из 40, 12 из 64); если в скобках указано ($n \times n$), это значит, что ввод/вывод может осуществляться в защищенном кольце по двум направлениям: восточному и западному;

Топология – в порядке сложности в системах WDM могут быть реализованы топологии: точка-точка (т-т) без возможности промежуточного ввода/вывода трибов SDH; линейная цепь (лц) с возможностью ввода/вывода трибов PDH/SDH; звезда (з), точка-много точек (т-мт), многоточка-многоточка (мт-мт), реализуемые с помощью концентраторов; кольцо, которое может быть представлено в трех видах: одинарное кольцо без защиты (к), двойное кольцо с защитой (к2), счетверенное кольцо с полной защитой (к4); ячеистая сеть (я) с возможностью динамической маршрутизации;

Секции-пролеты. Число, Бюджет, Длина – число пролетов в секции и их бюджет мощности; пролет (перекрытие) – это расстояние между мультиплексором и линейным усилителем – ОЛУ, между двумя ОЛУ, между ОЛУ и регенератором; пролет содержит минимум два ОЛУ: выходной бустер и входной предусилитель, он может перекрывать расстояние 80–120–160 км (зависит от типа пролета); Секция может состоять из нескольких пролетов, и ее возможная длина достигает 4000/4500 км, причем несколько секций могут стыковаться между собой (по типу “выход-вход” (back-to-back) или с использованием регенераторов);

Скорость входных данных – указаны границы диапазона скоростей, которые определяются поддержкой того или иного логического интерфейса (или формата данных), определяющего набор сетевых технологий, с которыми может стыковаться указанная система WDM; например, при минимальной скорости 10 Мбит/с и типе интерфейса E система WDM может стыковаться с сетью Ethernet; если скорость равна 100 Мбит/с и указан интерфейс FE, значит допустима стыковка с сетью Fast Ethernet, если GE или 10GE, то допустима стыковка с сетью Gigabit Ethernet или 10Gigabit Ethernet на скорости 1 или 10 Гбит/с, и т.д.; системы WDM поддерживают теперь и прозрачный канал асинхронной передачи (BTDS); для технологии ATM используются скорости передачи SDH, вплоть до 2,5 Гбит/с, а для передачи GE может быть использован либо канал SONET (OC-24 – 1,25 Гбит/с), либо 8 каналов GE мультиплексируются для упаковки в канал SDH STM-64 – 10 Гбит/с;

Шаг несущих – он указан либо в гигагерцах (200/100/50/25), либо в нанометрах (20 нм) – только для систем CWDM;

Занимаемая полоса – приводится или в нанометрах (напр., 1529–1602), или указан тип полосы: C (1529–1562 нм), L (1570–1610 нм), S (1450–1490 нм);

Тип поддерживаемого логического интерфейса – см. примечания к табл. 7;

Управление – имеется в виду управление системой в целом, включая управление мультиплексорами SDH/SONET и WDM или оборудованием сети, с которой стыкуется аппаратура WDM; это управление на основе TMN с интерфейсами Q и/или F [1] и супервизорное управление с использованием протокола SNMP или IP, или единой сети управления типа OSS.

Кроме указанных параметров, системы характеризуются и другими параметрами, такими как:

- допуск по дисперсии, указывающий, какую максимальную накопленную на длине одной секции дисперсию система WDM способна преодолеть без потери качества сигнала, определяемого уровнем BER; эта величина используется для проверки возможности системы (секции) перекрыть определенное расстояние [1];
- канал управления, или оптический канал супервизорного управления ОКСУ (OSC); этот канал организуется на дополнительной оптической несущей, обычно используется следующий ряд частот: 1310, 1480, 1510, 1532, 1625 нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. 2-е исправл. изд. – М.: Радио и связь, 2003. – 468 с.
2. Слепов Н.Н. Современные оптоволоконные технологии. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, № 1, с. 20–23.
3. Слепов Н.Н. Оптическое мультиплексирование с разделением по длине волны. – Сети, 1999, №4. с.24–31.
4. Jean-Pierre Laude. DWDM Fundamentals, Components, and Applications. – Artech House Inc., Boston-London, 2002. – 282 p.
5. ITU-T G.692. Optical interfaces for multi-channel systems with optical amplifiers (10.98, Corr. 1, 2 – 6.02).
6. ITU-T G.694.1. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid (6.02).
7. ITU-T G.694.2. Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid (6.02).
8. ITU-T G.957. Optical interfaces for equipments and systems relating to the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) (95, 7.99, Amendment 1 – 12.03).