Почувствуй себя магистралом, или немного о DWDM

Бери больше, кидай дальше...

Всего-то десяток лет назад снег был белее и было его больше первые Ethernet-провайдеры украдкой, иногда ночами, "кидали" между домами витую пару или П-296 (все ли еще помнят этот знаменитый ресурс армии СССР?). Ставили на чердаках 8-ми и 4-х портовые "мыльницы"-хабы и изредка рутеры на базе intel486. Количество абонентов измерялось в лучшем случае сотнями, а мегабайты стоили чуть ли не 10 рублей за штуку.

Сейчас в крупных городах по сути нет места для развития, 3-4 оптоволоконных кабеля на дом едва ли не норма. Поэтому многие из тех, кто уцелел от массовых скупок соседями и варягами, начинают осваивать пригороды и окрестности. Расстояния, которые надо «преодолеть» варьируются в достаточно больших пределах: от 20 до 200км. Свою оптику тут "кинуть" не просто, основной путь - покупка или аренда волокна.

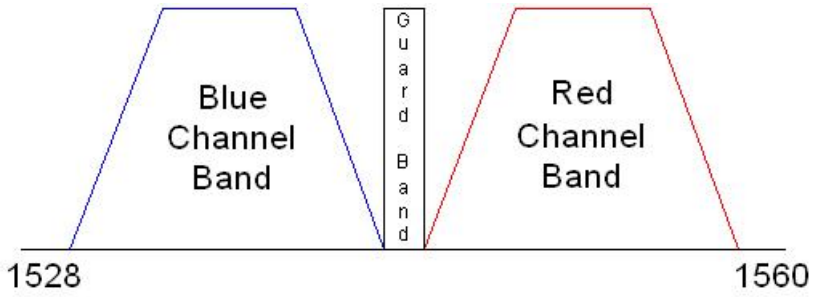
Дмитрий Самоделко (технический директор Nag) описывает ситуацию с DWDM следующим образом:

На расстояниях до 80км (с общим затуханием на линии до 23дБ) все просто, но чем дальше - тем интереснее и дороже. SFP/GBIC 1G сейчас готовы «пробить» до 160км, а 10G пока только 80км (в конце 2010 ожидается появление 120км 10Г модулей). Если не рассматривать всерьез 1G, то возможностей преодоления >80км на скоростях 10G и более не так много. Во-первых, ставить электрические повторители типа конвертеров SNR-CVT-XFP. Во-вторых, использовать DWDM системы с усилителями.

Большинство DWDM систем в России, да и в мире, организованы на базе транспондеров (подробнее можно посмотреть в #375). Обычно это очень дорогие устройства, которые могут позволить себе только крупные межрегиональные компании. Относительно новым и еще слабо освоенным на практике решением является использование сменных оптических модулей с заданным излучением в DWDM диапазоне + отдельных EDFA. Это существенно дешевле, но пока непривычно. При кратком поиске мне попались только две компании, которые серьезно занимаются подобными системами, это PacketLight и IPG-Photonics (ИРЭ-Полюс).

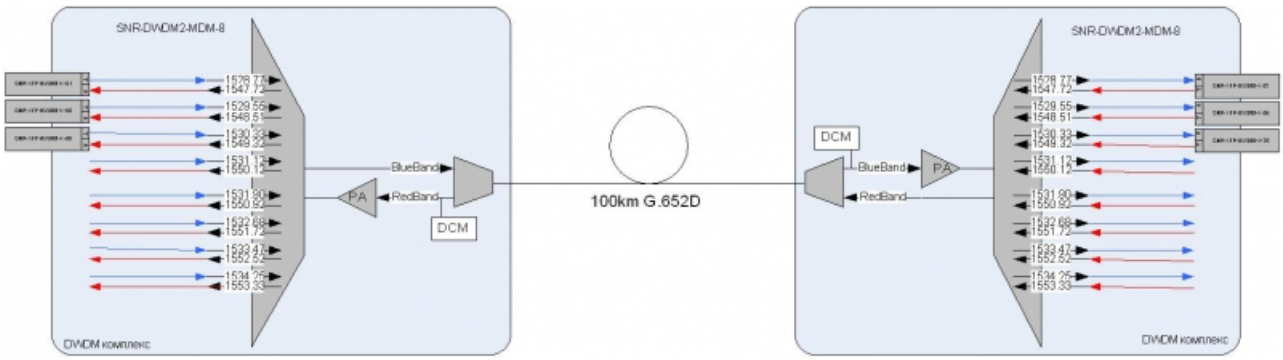
Тема передачи 40G и более на дальние расстояния по **одному** волокну (это, кстати, весьма редкая возможность) показалась интересной и нужной. Поэтому для испытаний была заказана и собрана DWDM система. Перед покупкой долго изучали теоретические вопросы, связанные с усилением оптических сигналов и размытием импульсов во временной области. А так же консультировались с производителями. На редкость грамотные китайцы оказались...

К вопросу подходили теоретически подкованными (как тогда думали) и надеялись с первой попытки все собрать и получить пролет 175км по 1 волокну без электрической регенерации и дополнительных усилителей на протяжении трассы. Для того чтобы «заставить» DWDM систему работать по одному волокну необходимо разнести частоты (длины волн) приема и передачи по разным диапазонам. В «С» диапазоне длин выделяют 2 поддиапазона красный (Red Band) и синий (Blue Band).



Для разделени/объединения этих поддиапазонов применяются тонкопленочные фильтры (R/B filter). Кроме того, необходимо использовать соответствующие DWDM мультиплексоры и набор сменных оптических модулей (трансиверов).

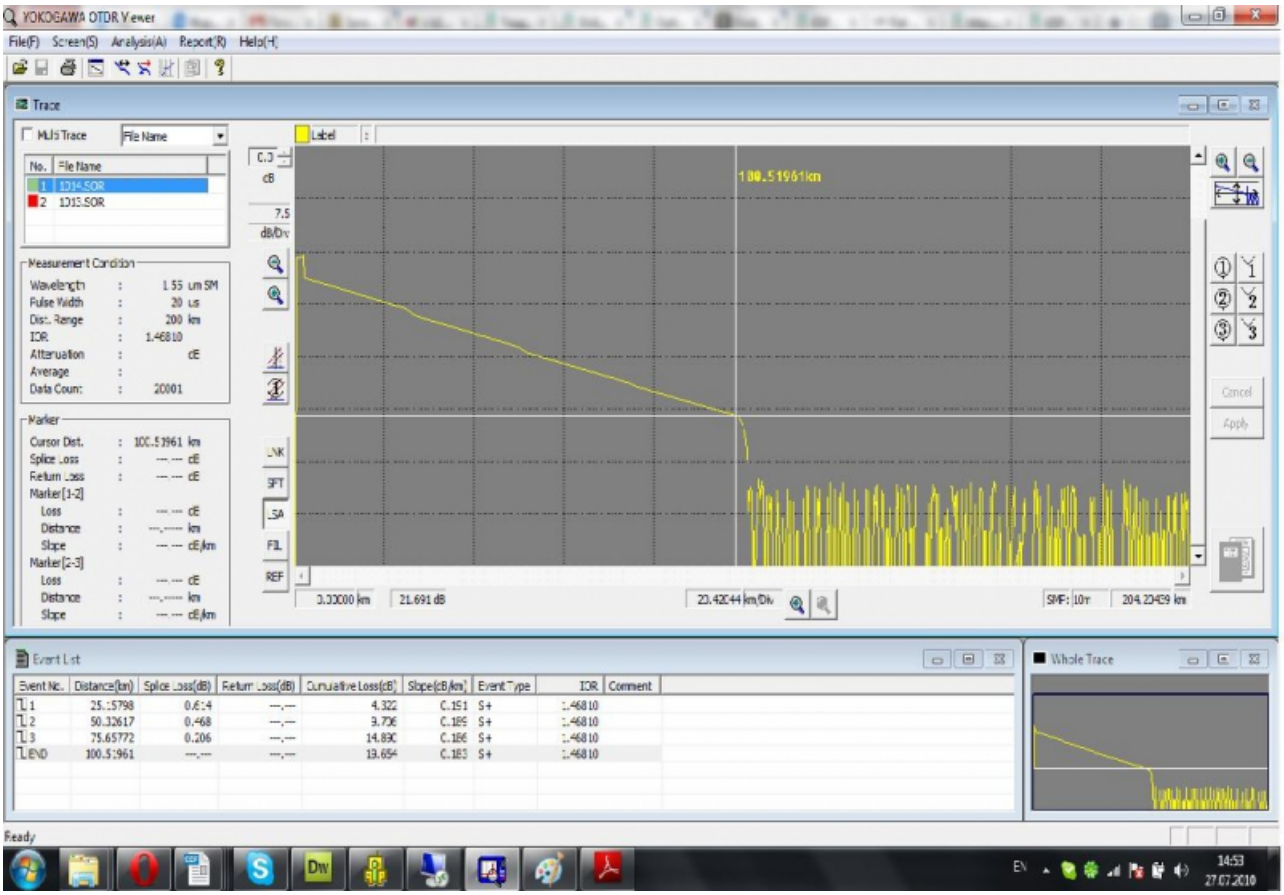
Первая попытка собрать DWDM систему оказалась не совсем удачной. Несколько часов работы по сборке и настройке дали только пролет в 100км по одному волокну с применением предусилителей + компенсаторов (без усилителей накачки) на 40км XFP трансиверах (SNR-XFP-DWDM).



Установка усилителей накачки сразу все портила. Все уровни сигналов были в порядке, но линк на 10G портах коммутаторов сразу терялся. Времени на изучение не было - с таким результатом и отправились на КРОС2010. Там всем желающим и продемонстрировали линию в 100 км по 1 волокну с 3-мя «лямбдами» по 10G.



Собирали в нулевой день по одной лямбде, чтобы исключить ошибки. Общее затухание на линии составляет 20дБ (рефлектограмма).



Если добавляем катушку компенсации перед предусилителем + R/B фильтры получаем 29-32дБ общее затухание. При уровне сигнала 0,0-1,5дБ на выходе XFP модуля и чувствительностью предучилителя в 30дБ - данное затухание является предельным. Таким образом, у нас не заработал первый канал (уровень сигнала на входе предусилителя был ниже его чувствительности).

Но тут не стоит забывать о том, что предусилитель «детектирует» не сигнал одного канала, а групповой. Добавление второго канала сразу решило проблему. При добавлении третьего - мы уже имели некоторый запас по затуханию на линии.

После КРОС-2010 надо было решить проблему, связанную с применением усилителей накачки и малой дальностью работы системы. Пошаговое исследование привело к таким результатам:

Первая попытка. На 40км трансиверах устойчивость к дисперсии в 2 раза ниже, чем на 80км трансиверах. В связи с этим максимальная длина линии при использовании данных модулей составит по расчетам 140км.

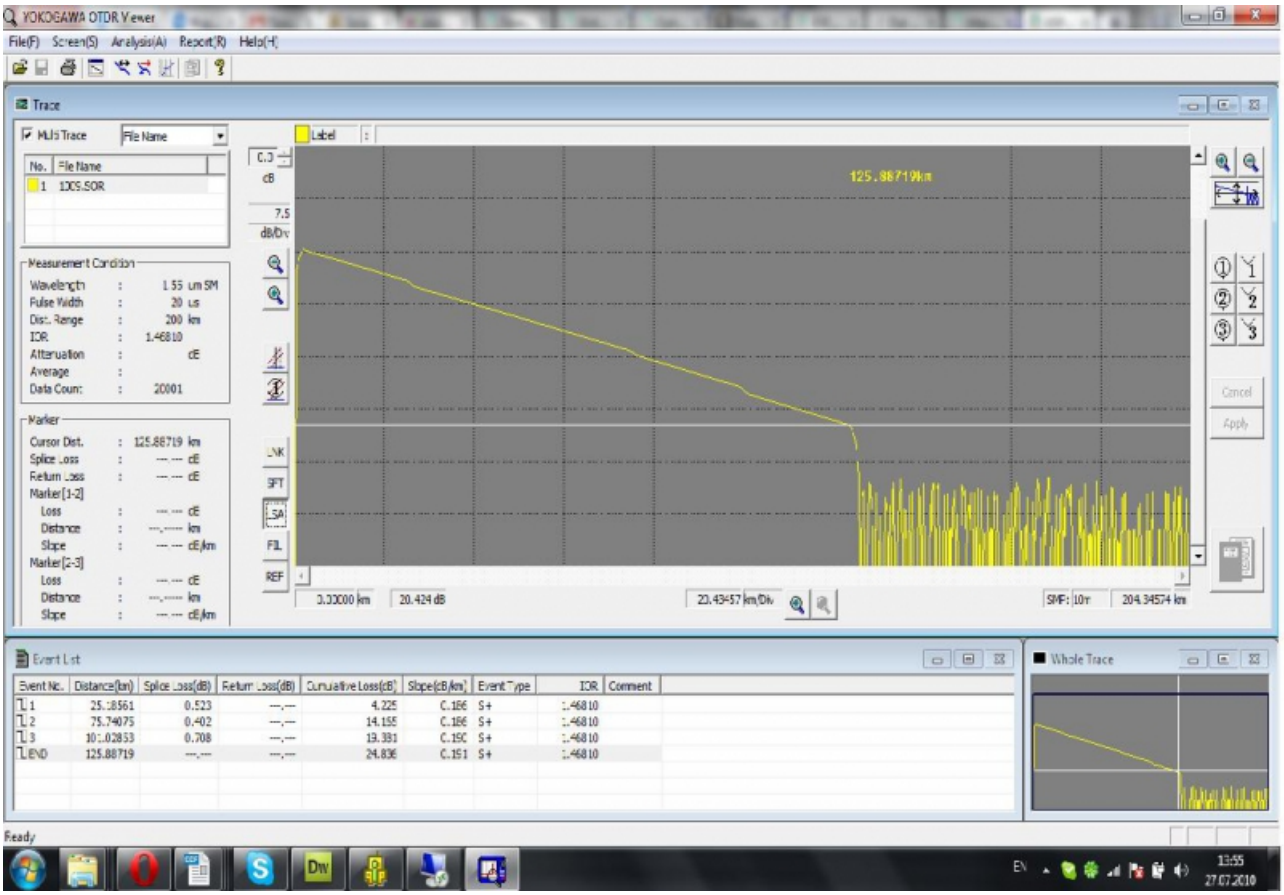
Считаем вместе:
Устойчивость к дисперсии данных модулей 800ps/nm.
Показатель накопления дисперсии в стандартном G.652D волокне (которые мы исользовали) составляет 17ps/nm*km
Компенсационная катушка компенсирует 100км волокна - т.е. 1600-1700ps/nm.
Итого получаем: (800+1600)/17= 141km.

Вторая попытка. С использованием XFP на 80км (устойчивость к дисперсии 1600ps/nm) получится «пробить» минимум (1600+1600)/17=188km волокна.

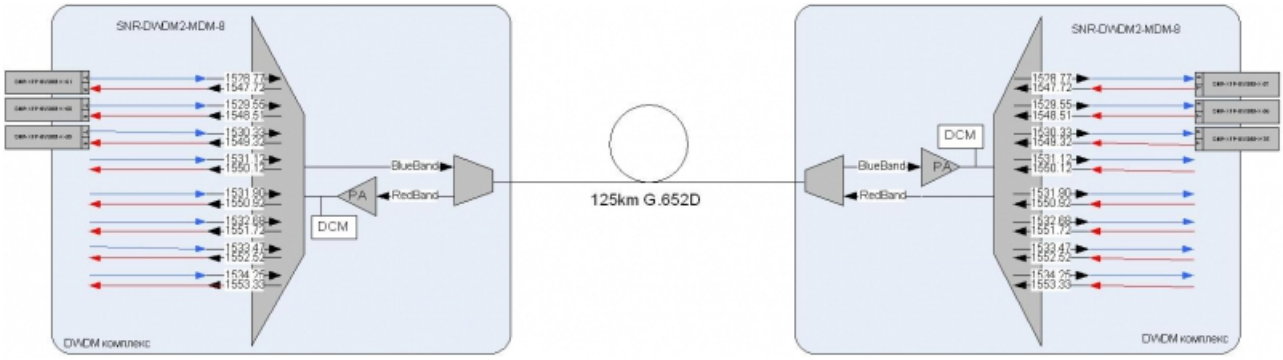
На достаточно коротких линках (использовали 75-125км расстояния из-за ограничения в дисперсии 40км модулей) мощность сигнала после усилителя накачки оказывалась выше порога SBS - вынужденного Бриллюэновского рассеяния. Что вызывало акустическую волну в обратном направлении, которая подавляла полезный сигнал. Подробнее про эффект можно посмотреть тут. Решение было простое - поставить аттенюатор.

В качестве аттенюатора привычно намотали оптичекое волокно на палец руки инженера... Включаю усилитель и... Крик! Пара намотанных витков "стекла" вызвали вполне приличный ожог. Никогда не мог себе представить, что волокно может так сильно нагреваться при излучении в него сигнала с мощностью порядка 25дБм.

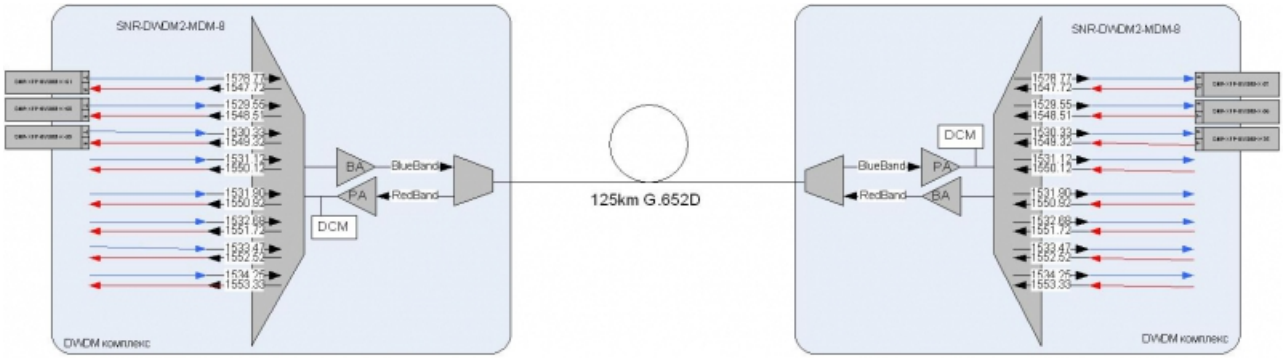
Однако результат в виде линии связи длиной 125км (рефлектограмма) с помощью предусилителей и компенсаторов дисперсии по 1 волокну был достигнут.



Для этого компенсатор дисперсии мы сдвинули «за» предусилитель:



Третья попытка позволила получить ту же линию 125км по 1 волокну с помощью усилителей накачки и переменных аттенюаторов.

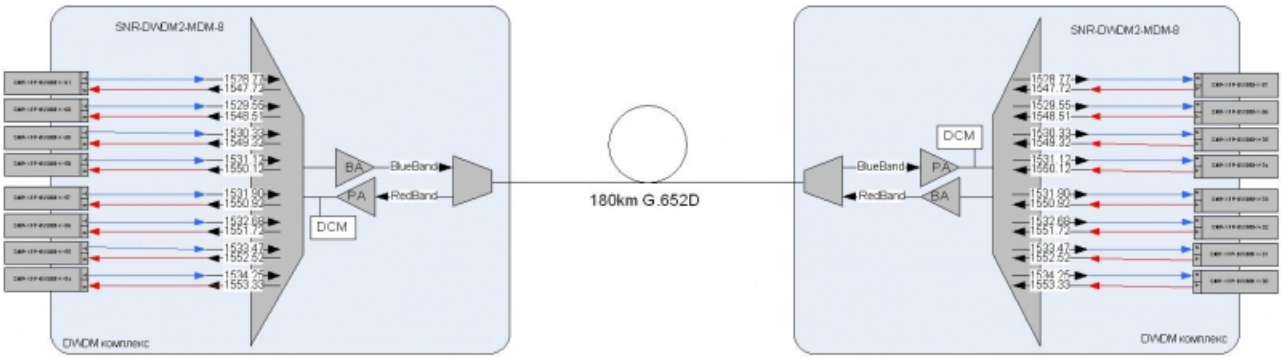


Четвертая попытка позволит получить линию в 180-185км. Это надо будет проверить когда придут XFP на 80км, но сомнений в успехе нет.

Впереди получение сертификата ССС на усилители, а так же тестовая эксплуатация на реальной трассе в 155км у одного из крупных операторов связи России.

Теоретический расчет системы DWDM на 8 каналов со скоростью 10G на расстоянии 155км.

Схема включения оборудования:



Расчет трассы по оптической дисперсии:

1. Кабель ОПН-ДПС-А содержит в себе волокно стандарта G.652D. Показатель дисперсии 17ps/nm.
2. Длина трассы 155км. Суммарная дисперсия на всей длине трассы равна: 155 • 17 = 2635ps/nm
3. Показатель дисперсии компенсатора SNR-DCM-100 составляет не менее 1482-1718ps/nm (в диапазоне 1525нм - 1565нм).
4. Показатель дисперсии компенсатора SNR-DCM-120 составляет не менее 1782-2066ps/nm (в диапазоне 1525нм - 1565нм).
5. Устойчивость к дисперсии сменных оптических модулей SNR-XFP-DWDM-15-XX составляет 800ps/nm.
6. Устойчивость к дисперсии сменных оптических модулей SNR-XFP-DWDM-23-XX составляет 1600ps/nm.

При использовании SNR-DCM-100 необходимо обеспечить усточивость минимум: 2635 -1482 = 1153ps/nm.
Данному условию удовлетворяет SNR-XFP-DWDM-23 серия оптических сменных модулей (80км)

При использовании SNR-DCM-120 необходимо обеспечить усточивость минимум: 2635 -1782 = 853ps/nm.
Данному условию удовлетворяет SNR-XFP-DWDM-15 серия оптических сменных модулей (40км), но не для всего диапазона длин волн. Поэтому данный вариант выглядит менее предпочтительным.

Расчет трассы по затуханию:

1. Затухание по всей длине трассы 35дБ.
2. Примем запас равным 2дБ.
3. Затухание в DWDM мультиплексоре-демультиплексоре не более 3,5дБ.
4. Мощность излучения DWDM сменных оптических модулей минимум 0дБм.
5. Допустимая входная мощность усилителя накачки в пределах: -10...+10 дБм
6. Коэффициент усиления усилителя накачки 26дБ.
7. Чувствительность предусилителя не менее -30дБм.
8. Коэффициент усиления предусилителя 25дБ
9. Затухание в модуле компенсации дисперсии составляет не более 8,4дБ.

Для стабильной связи от 3 до 8 каналов со скоростью 10Г необходимо учесть и рассчитать мощность группового сигнала.

Расчет трассы по отношению сигнал/шум.

1. Для построения линии связи на 155км будем использовать 2 усилителя в одном направлении: BA (усилитель накачки) + PA (предусилитель).
2. Коэффициент шума усилителей не более 6,8дБ.
3. Для скоростей 10Г отношение сигнал/шум (OSNR) не должно быть менее 25дБ.
4. Воспользуемся формулой для рассчета OSNR:

SNRout = 1/(1/SNRin + FhvB/Pin)

Где:
SNRout - OSNR на выходе усилителя, SNRin - OSNR после предыдущего усилителя, F - величина генерируемого шума (noise figure (ratio)), h - константа Планка (6.63 * 10^-34 [J*s]), v - частота сигнала, B - полоса на которой измеряется шум (noise figure), Pin - входная мощность на усилителе

Для первого усилителя шпримем SNRin за бесконечность. В итоге получим выражение вида:

(OSNR)out = Pin/ hfBNF

Для второго усилителя расчет будет выглядеть так:

(OSNR)out = 1/(1/(OSNR)in) + hfBNF/Pin

Расчетные данные можно оформить в виде таблицы.

		Пункт 1				155	Пункт 2				
Элемент ВОЛС		ТР	MDM-8	EDFA-DB26	R/B	ОВ	R/B	EDFA-DA25	DCM-100	MDM-8	ТР
Длина участка	км					155					
Усиление SNR-EDFA	дБ			26				25			
Кол-во каналов		1	8	8	8	8	8	8	8	8	1
Вносимое затухание	дБ	0	3,5	0	1	35	1	0	8,4	3,5	0
Запас по затуханию	дБ		5			7					
Хром. дисперсия	пс/нм					2635			-1482		
Сигнал на выходе эл-та	дБм/кан.	0	-8,5	17,5	16,5	-25,5	-26,5	-1,5	-9,9	-13,4	-13,4
Суммарная мощность	дБм	0	0,53	26,53	25,53	-16,47	-17,47	7,53	-0,87	-4,37	-13,4
OSNR в конце участка	дБ	∞	∞	32,69	32,69	32,69	32,69	31,98	31,98	31,98	31,98

Состав оборудования:

1. SNR-EDFA-DB26 = 2шт. (240 920.00 руб. каждый)
2. SNR-EDFA-DA25 = 2шт. (64 686.72 руб. каждый)
3. SNR-DCM-100 = 2шт. (196 050.88 руб. каждый)
4. SNR-DWDM2-MDM-8 = 2шт. (48 536.00 руб. каждый)
5. SNR-R/B = 2шт. (3000.00 руб каждый)
6. SNR-XFP-DWDM-23 = 6-16шт. (75 472.96 руб. каждый)

Цены указаны без скидок. Полагаю, на сегодняшний день это самое дешевое из решений предлагаемых на рынке в России.

Разное.

Пришла Cisco с описанием "не отвечает в консоль". Разобрали, улыбнулись. Кто-то проделал отверстие чётко по центру АСИКа.



Город Первоуральск, Новотрубный завод. Из трубы вышла неплохая конструкция для крепления антенн.


[Почувствуй себя магистралом, или немного о DWDM]

Обновление в разделах

- В раздел Настройка оборудования добавлена статья "Процедура по восстановлению коммутаторов SNR после стирания ОС".
- В разделе Внутренности оборудования добавлены фотографии STB Elecard iTelec STB 820-10, коммутатора D-link DES-3528 и "пинговалки" NetPing B+ 2/PWR v2 .
- В каталоге "Провайдеры России" идет серьезная перестройка механизмов обновления информации. Прошу заинтересованных провайдеров по возможности проверить его функционирование. По всем вопросам, связанным с размещением в каталоге или получением прав доступа к административной части, пишите на почту prov@nag.ru.
- В разделе Видеоинструкции добавлены ролики, описывающие работу: с кабельными стрипперами SNR-STP-C1 и SNR-STP-C2, монтаж быстрого коннектора типа SC, а также инструмент для очистки ферулл оптических разъемов One-Click-Cleaner SNR-OCC-LC.

Анонс

- Обязательно пишите письма, мы их любим. Если нет ответа в почту - используйте ICQ 17245771, твиттер @PavelNag
- Оптический телеграф, страницы истории.
- Разберемся с терминами.