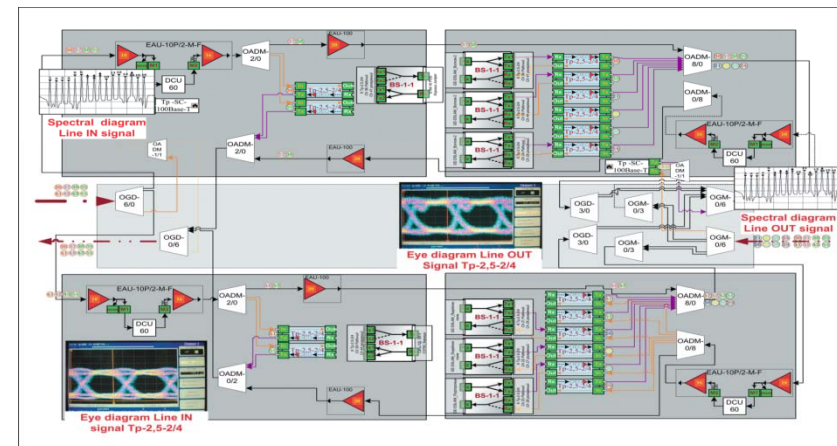


35 000 км магистральных сетей DWDM РОССИЙСКИЕ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ DWDM – СИСТЕМ СВЯЗИ

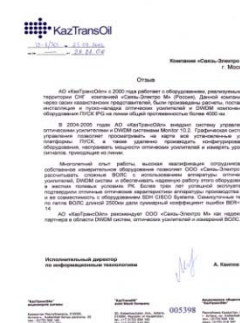
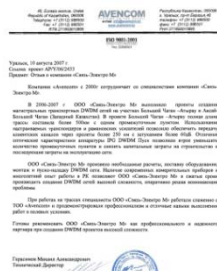
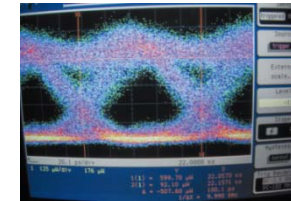
*Владимир Трещиков
к.ф.-м.н., директор ООО «Т8»
г. Москва
E-mail: vt@t8.ru*





От инсталляции - к разработкам

- Компания «Т8» организована в 2008 г. (2004-2008г - ООО «Связь-Электро М»). В компании работают 9 кандидатов и 2 д.ф.-м.н. в области волоконной оптики и лаз. физики.
- Разработка DWDM систем - совместно с НТО «ИРЭ-Полюс»
- Проектирование. Расчет сетей в OptSim
- Измерения. Лучшая лаборатория - более 200 приборов для анализа ВОЛС и DWDM
- Инсталляция. Опыт монтажа DWDM и ВОЛС от Туркмении до Заполярья
- Сервис. Быстрый и качественный сервис в России. 90% случаев - замена за 1 день, 100% - ремонт до 2 недель



Успешное внедрение DWDM ПУСК в ОАО «Ростелеком»

ООО «Т8» является лидером по внедрению российского DWDM оборудования ПУСК на территории России и СНГ. По состоянию на 2 квартал 2011 года специалистами компании ООО «Т8» построено более 35 000 км DWDM сетей.

Общая протяженность сетей с использованием DWDM ПУСК:

2004-2006 гг. – 7559 км

2007 г. – 6996 км

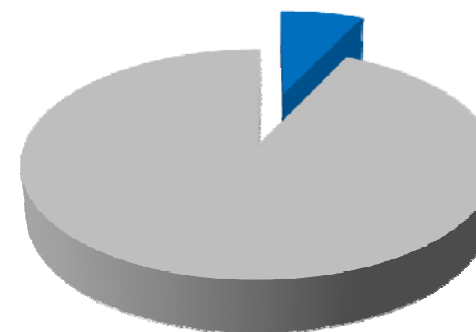
2008 г. – 5357 км

2009 г. – 8360 км

2010 г. – 4865 км

2011 г. 2 кв. – более 2000 км*

Итого: более 35 000 км



■ -«ПУСК» (НТО «ИРЭ-Полюс», «Т8») (7%)

■ - 1626LM (Alcatel-Lucent), hiT7300 (Nokia-Siemens), OSN 6800, 8800 (Huawei), DW4200 (NEC), DTN (Infinera), XDM-2000 (ECI)

По состоянию на 2 квартал 2011 года доля российского DWDM оборудования ПУСК на сетях объединенного ОАО «Ростелеком» составляет 7%, целевыми показателями является 20%.

* 2 000 км уже реализованы и идет реализации еще более 4 500 км.

Новые разработки

- Новое поколение шасси DWDM ПУСК
- Система управления Монитор - поддержка ASON
- Порядка 20 блоков в разработке:
- 10G транспондер - максимально повысить дальность передачи
- 40G мукспондер - достигнут OSNR 12.5dB - следующий шаг - когерентная система
- 100G мукспондер - следующий шаг
- 400G и далее - концепции и анализ возможностей выполнения проекта
- Когерентный рефлектометр Дунай

Key Technology #1: WDM = solution to reach multiterabit/s capacity

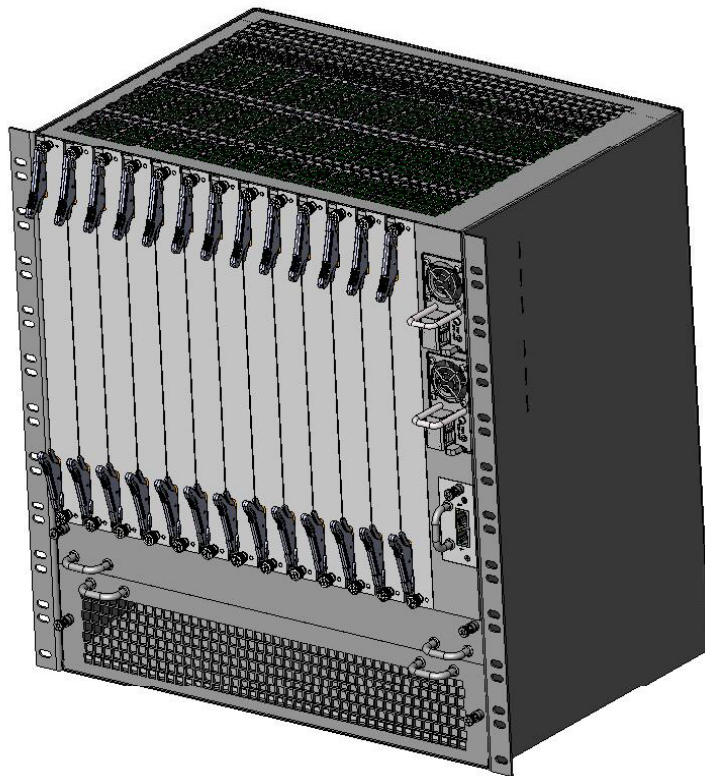
Key Technology #2: Reconfigurable Nodes = Flexible Operation After P. Winzer

Разработки 2010-2011

	Класс	Код ТУ или серт.	Функциональность	Макет
1	Транспондеры и мукспондеры	AGG-40-4	Агрегирующий транспондер 43Гбит/с NRZ-DPSK, 4 клиентских входа по 10Гб/с	2 кв 2011г
2	Транспондеры и мукспондеры	AGG-100-10	Агрегирующий транспондер 100Гбит/с, 10 клиентских входов по 10Гб/с	4 кв 2012
3	Транспондеры и мукспондеры	Тр-2X10	Сдвоенный транспондер 10G с SuperFec, перестраиваемый в С диапазоне	4 кв 2011г
4	Транспондеры и мукспондеры	АТР-2X10-8	Мультипондер 2X10Гбит/с с кросс-коммутации каналов	4 кв 2011г
5	Транспондеры и мукспондеры	AGG-2X2,5-2-GbE	Сдвоенный агрегатор 2 потоков Gigabit Ethernet в транспортную сеть OTU1	2кв 2011г
6	Транспондеры и мукспондеры	Тр-4-SFP	Счетверенный транспондер потоков STM-1/4/16/GbE на CWDM/DWDM SFP	2кв 2011г
7	Компактная CWDM система	Иртыш 3	8 канальная CWDM система высотой 1U	4кв 2010
8	Коммутаторы	CrossConnect 12X10G	GMPLS CrossConnect fabric 12 x10G с поддержкой GMPLS протокола.	4 кв 2011г
9	Коммутаторы	SW-2G-8	Ehternet Switch для служебной связи, 2 GbE + 8 каналов 100 Base-T	2кв 2010г
10	Коммутаторы	CU-SW-2G-6	Интегр. блок управления, Ethernet Switch и 2 канала служебной связи.	3кв 2010г
11	Оптические коммутаторы	ROADM-40	Оптический коммутатор 40 каналов PLC ROADM	3кв 2011г
12	Оптические коммутаторы	XC-8	Оптический кросс-коннект на PLC, 8X8 независимых от длины волны портов	4кв 2011г
13	Оптические коммутаторы	WSS ROADM	WSS ROADM	4кв 2011г
14	Оптические блоки	OM-40-AV	PLC мультиплексор на 40 каналов со встроенными аттенюаторами	2кв 2010г
15	Оптические блоки	OM-40-AVP	PLC мультиплексор на 40 каналов с аттенюаторами и контролем мощности	4кв 2010
16	Оптические блоки	VOA-M-4	Блок ручных переменных аттенюаторов	3кв 2010
17	Оптические блоки	VOA-4	Блок MEMS переменных аттенюаторов	4кв 2010
18	Оптические блоки	TDCM	Переменный компенсатор дисперсии для настройки линий	2 кв 2010
19	Оптические блоки	TDCM 2	Переменный компенсатор дисперсии с улучшенными характеристиками	3кв 2010
20	Оптические блоки	OM-80	PLC мультиплексор и демультимплексор на 80каналов с шагом 50ГГц	3кв 2010
21	Оптические блоки	Дунай	Когерентный рефлектометр для определения воздействия на кабель	4кв 2010г
22	Шасси	ПУСК-3	Новое шасси ПУСК стандарта ATCA для работы с блоками увеличенной функциональности, новое питание, механика, активная кросс-плата	4кв 2011г

Новая DWDM платформа

Оптимизация для 40G: цель - 40 каналов 40G в одной стойке. Новое питание, внутреннее управление, механика, охлаждение.



- Платы высотой 8U, шириной 30мм, глубиной 285мм.
- Формат плат ATCA
- Глубина крейта 300мм - для установки спина к спине
- 13 слотов + слот под СУ
- 2 блока питания 650, 850, 1200Вт (Hot-Swap, 1+1)
- Внутреннее управление Ethernet

Блоки ПУСК



Сетевая система управления МОНИТОР 2

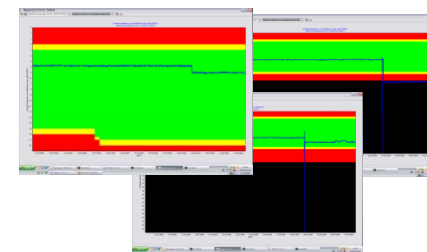
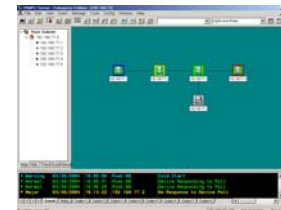
МОНИТОР 2 позволяет производить удаленное управление оборудованием «ПУСК»

Отображение узлов сети с привязкой к карте местности, отображение состояния узлов в реальном времени, ведение журнала событий

Отображение схемы установки оборудования в шасси «Пуск» в графическом виде, а также Визуальная сигнализации предупреждений и аварий оборудования, с указанием конкретного неисправного устройства и его параметров

Изменение параметров установленного оборудования, в указанном диапазоне значений

Ведение журнала о событиях системы «Пуск»



Транспондеры 10G

Как увеличить максимальную длину передачи?

Длина = F (усилитель, транспондер, волокно)

$10\text{Log}_{10}(N) < 58 + P_{in} - NF - \text{Loss} - OSNR_{\text{крит}} - \text{штраф}$

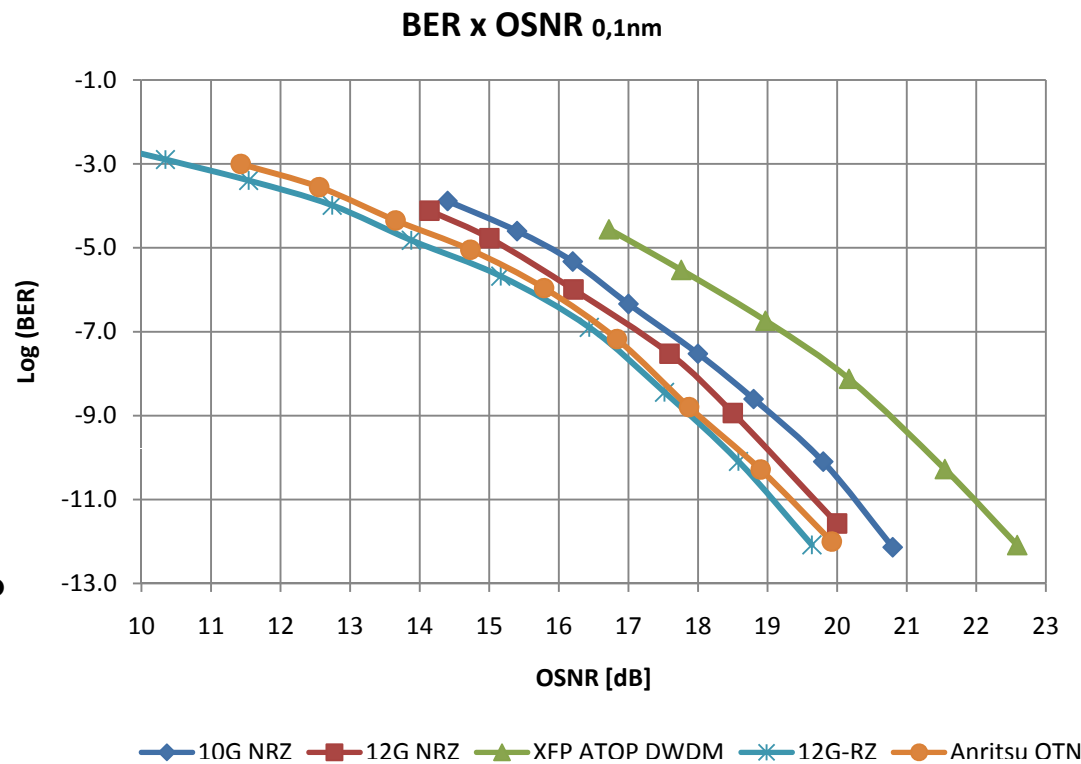
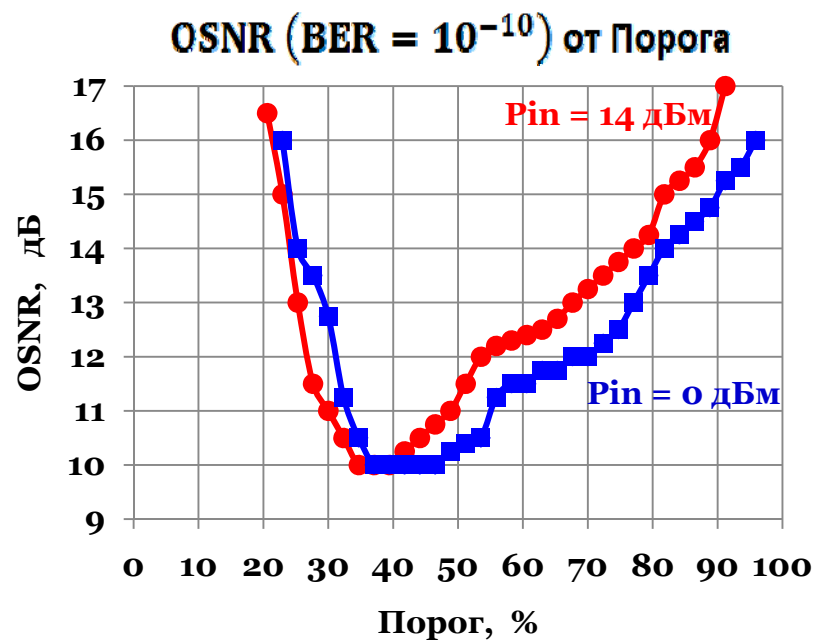
Минимизация $OSNR_{\text{крит}}$ - хорошая физика и мощный FEC

- Хорошая экстинция передатчика >13 дБ
- Использование RZ формата модуляции
- Оптимизация порога принятия решения
- Мощные типы SuperFEC- выигрыш до 8дБ
- Избыточность по FEC до 25% - еще 1.5-2дБ
- Приемники с использованием soft FEC

Максимальное P_{in} и минимальные штрафы на нелин.

- Исследование нелинейностей.
- Предкомпенсация дисперсии.
- Получен $OSNR_{\text{крит}}$ 9,8 дБ в полосе 0,1нм
 - * типичное значение $OSNR_{\text{кр}} = 15\text{дБ}$ (без FEC 20 дБ)

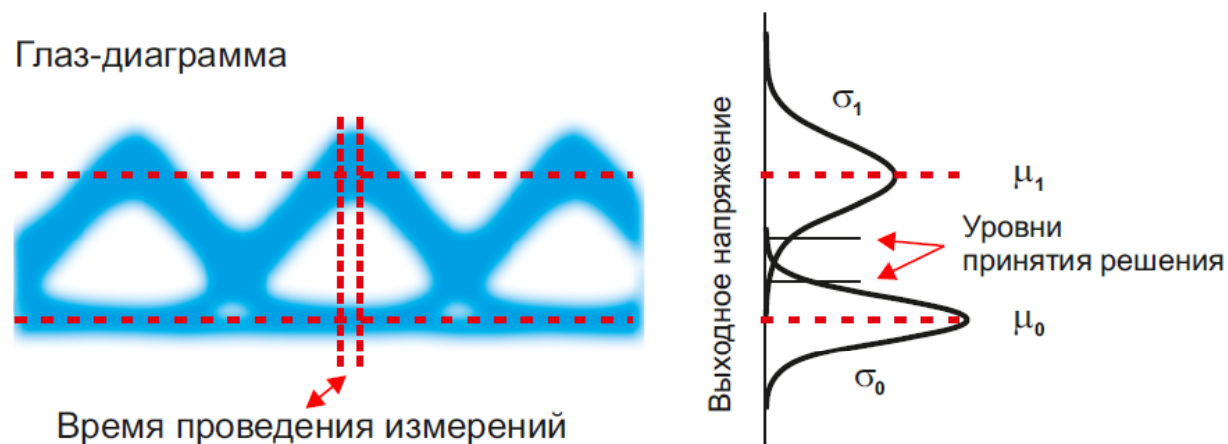
Приемник с оптимизацией порога принятия решений



Оптимальный порог 35-45%

Получен OSNR_{кр} < 10 дБ

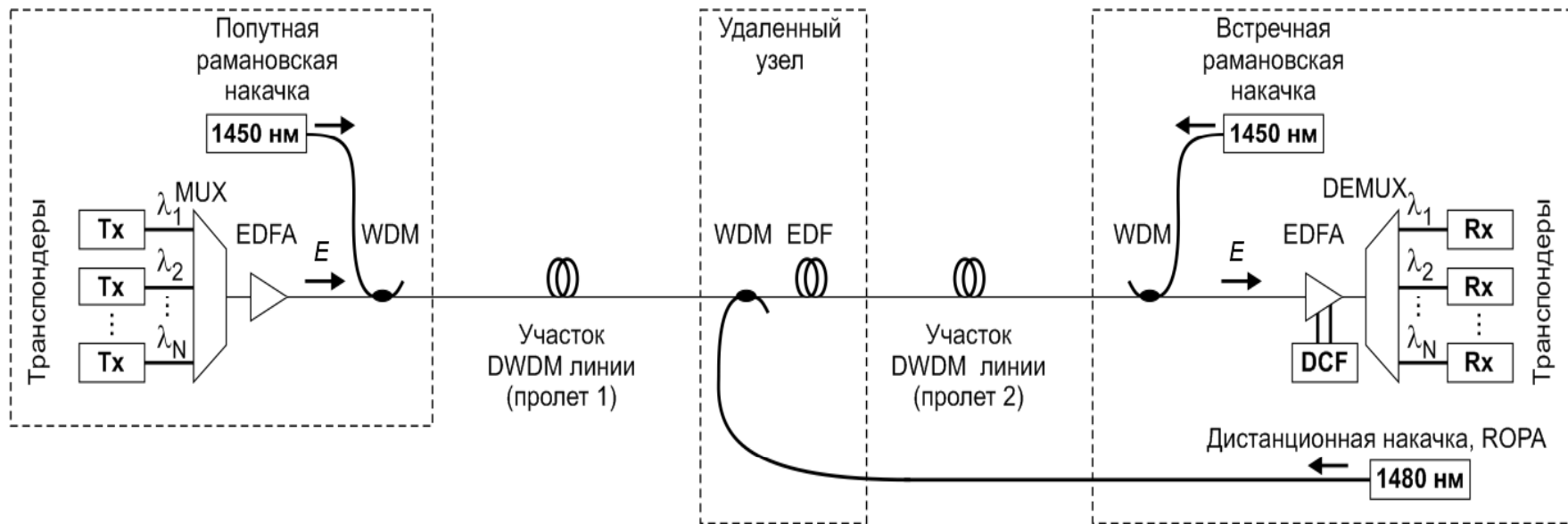
Приемник с «мягким» принятием решений - SoftFEC



3 и более уровня принятия решения позволяют использовать алгоритмы SoftFEC и получить выигрыш по OSNR 11-12дБ по сравнению с 8дБ G975 SuperFEC и 5-6 дБ стандартный FEC G709 Reed-Solomon

Цель - снизить OSNR_{крит} до 8-9 дБ.

Сверхдлинные оптические линии связи без усилительных пунктов

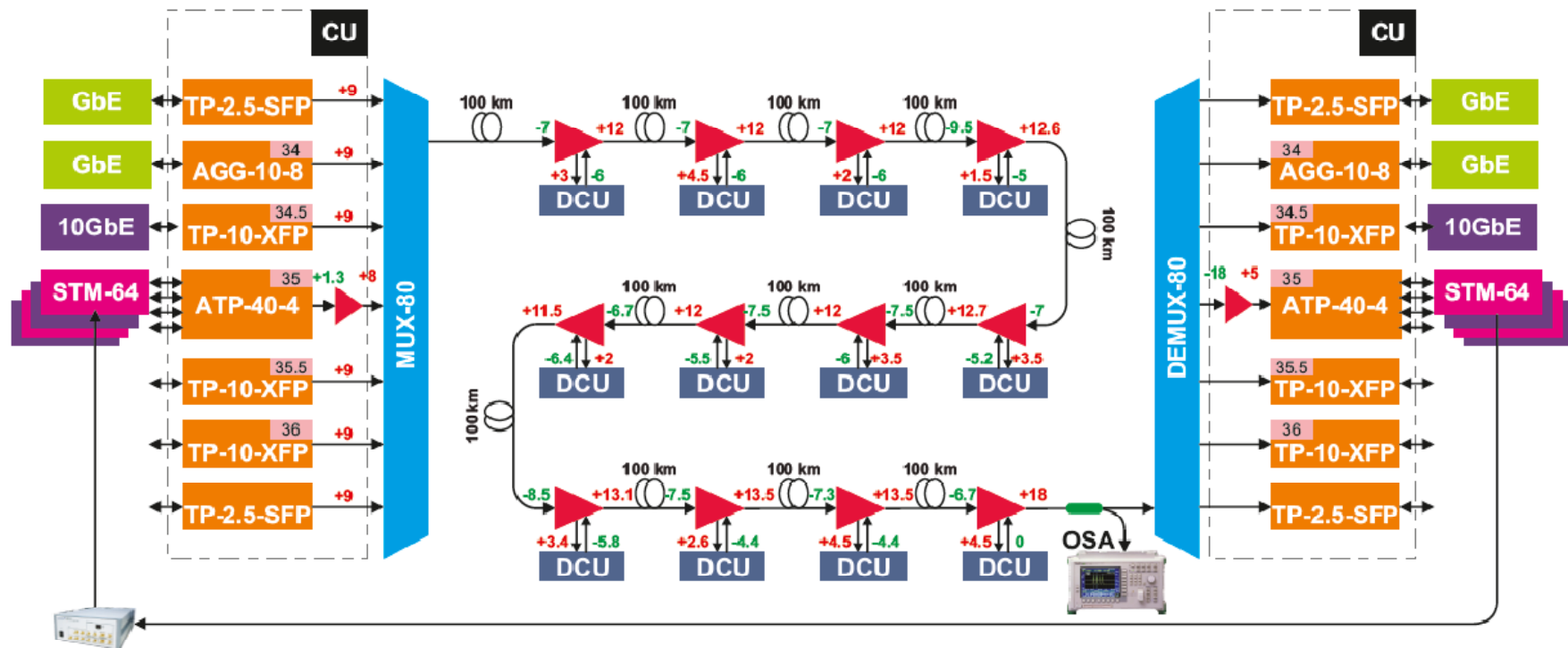


Методы увеличения длины линии-максимальная длина достигается при использовании удаленной накачки по дополнительному волокну - ROPA.

Получено: 375 км 8 каналов STM-16 - backward, forward Raman

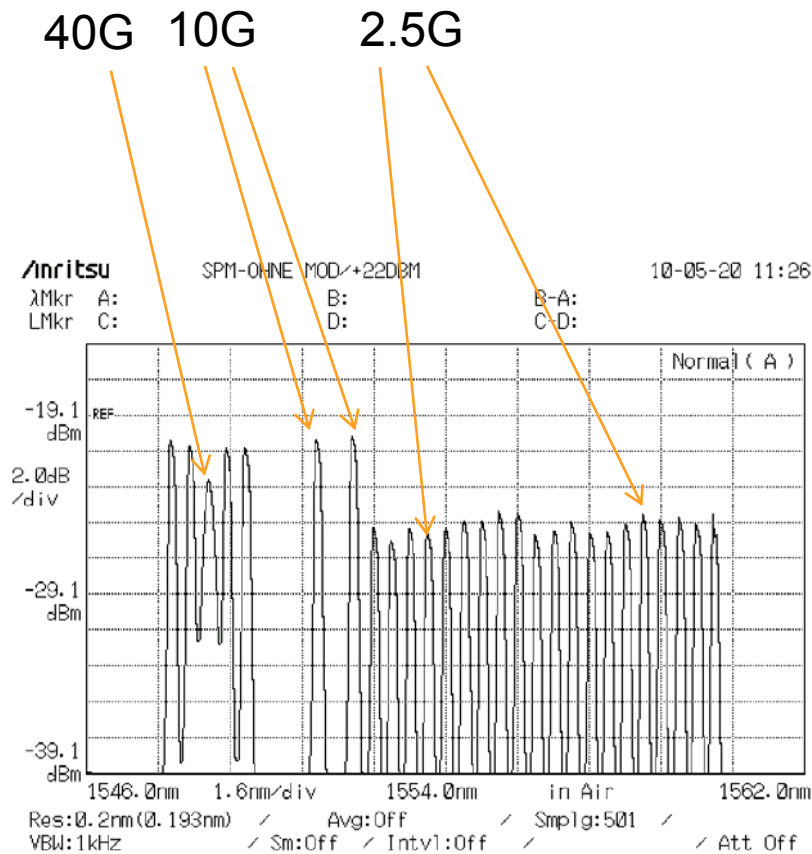
Цель - передать 8 каналов 10G на 430км - ROPA

Успешный тест 80-канальной многоформатной линии связи 1200 км (40 Гбит/с ADPSK, 10 Гбит/с NRZ, 2,5 Гбит/с NRZ)



Следующая цель - передача 40G на 2000км

Эксперимент: 40 Гбит/с - 1200км, 10 Гбит/с 4800км, 2,5 Гбит/с - 9600 км, 8 спанов по 1200км

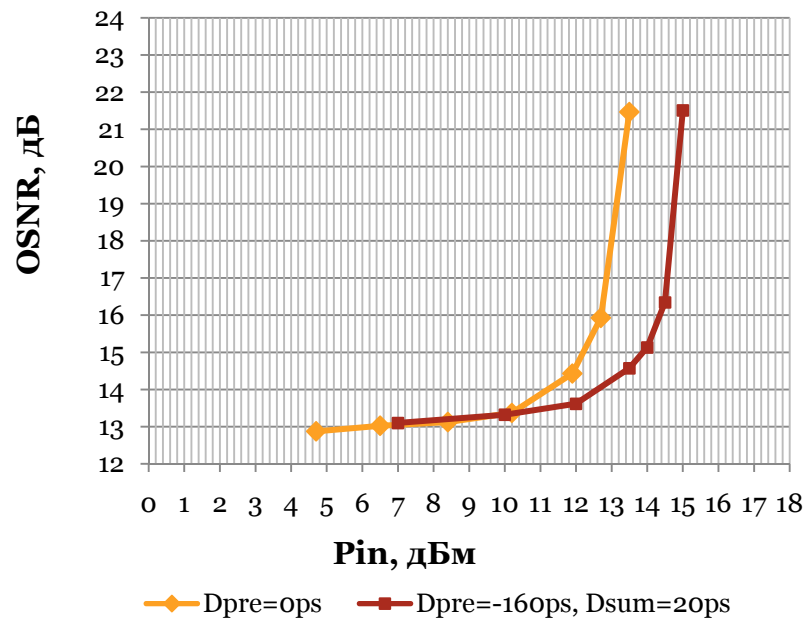


Спектр смешанного трафика
– 40, 10, 2.5G после 1200км передачи



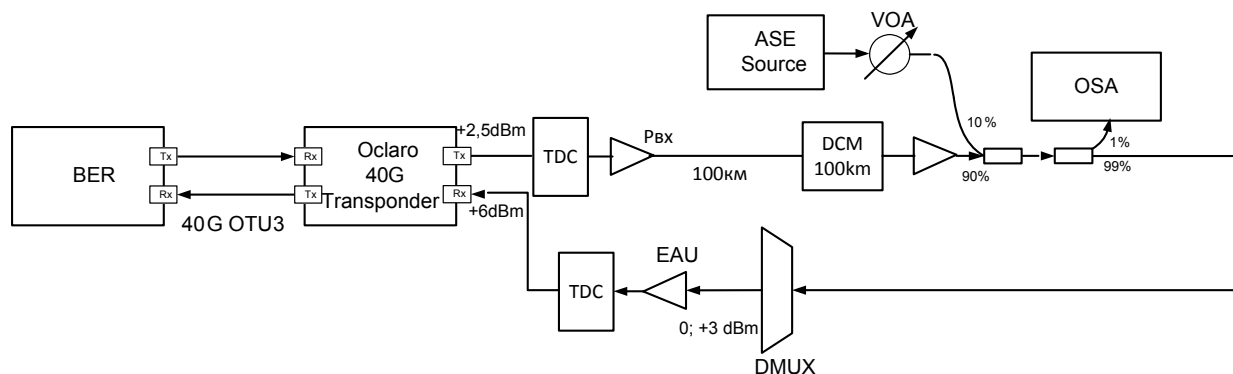
Экспериментальная установка

Анализ нелинейных искажений и оптимизация дисперсионной карты в линиях связи 40 Гбит/с

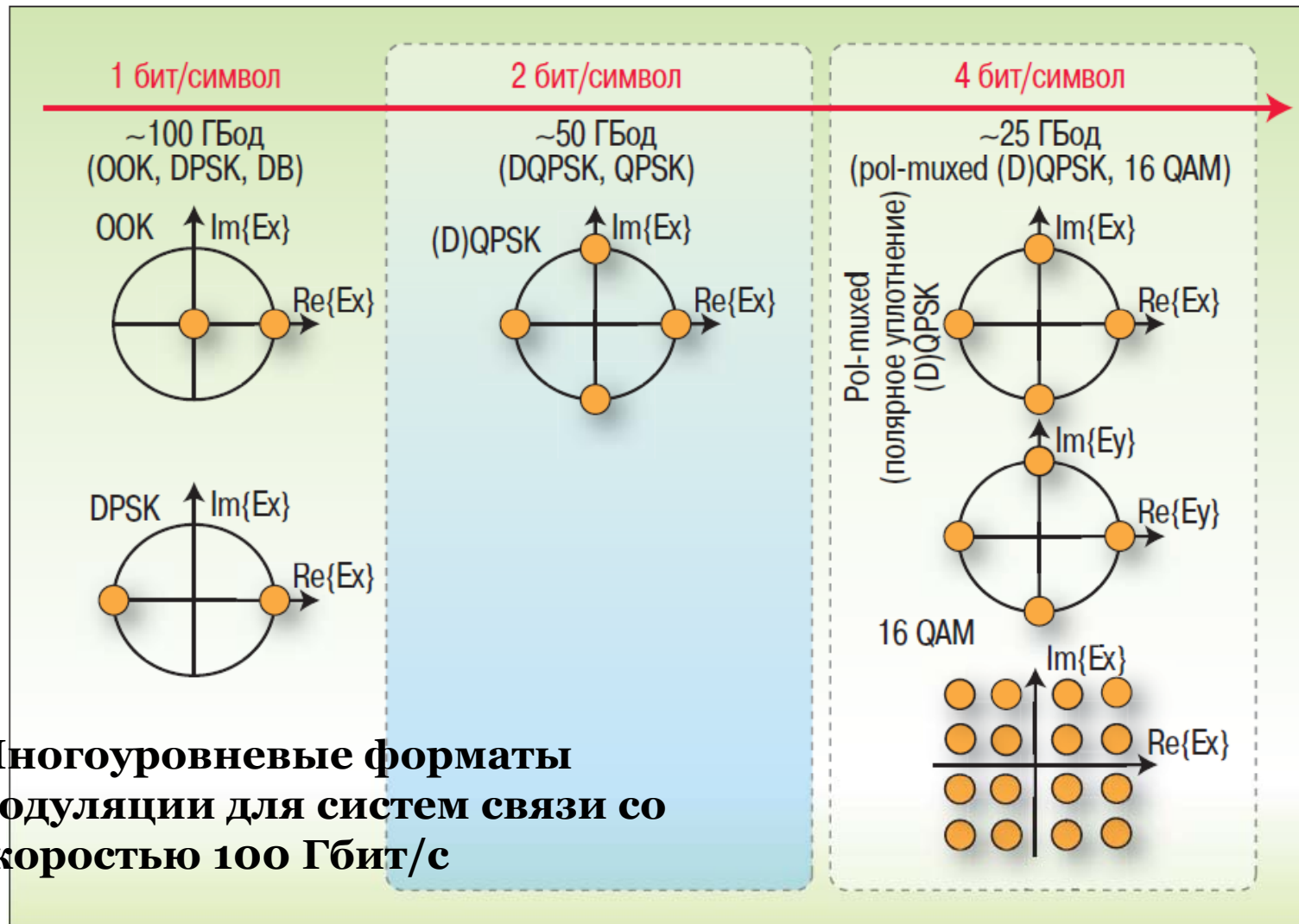


Зависимость входной мощности от OSNR_{кр} для одного участка 100км с предкомпенсацией дисперсии Dpre=-16ops и без предкомпенсации Dpre=ops.

Выигрыш по мощности при внесении предкомпенсации составил ≈ 2 дБ



Транспондер 100 G - DP-QPSK

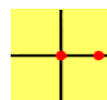


400 G и далее - повышение спектральной эффективности

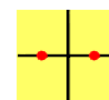
Формат модуляции	Число битов в одном бите	Скорость (Бод/с) для битовой скорости 450 Гбит/с
RZ OOK	1	450
QPSK	2	225
DP-QPSK	4	112,5
DP-8QAM	6	75
DP-16QAM	8	56,25
DP-64QAM	12	37,5

Для обеспечения скорости 400 Гбит/с возможно использование сочетания формата 16 QAM, поляризационного мультиплексирования и символьной скорости 50 Гбод.

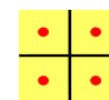
(N)RZ ASK



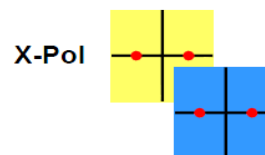
(D)BPSK



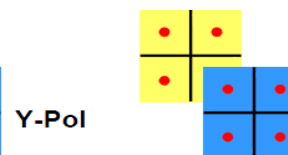
(D)QPSK



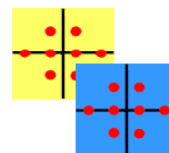
DP-(D)BPSK



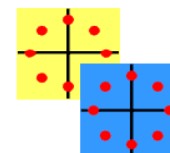
DP-(D)QPSK



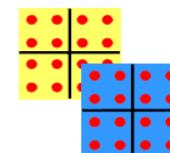
DP-8QAM



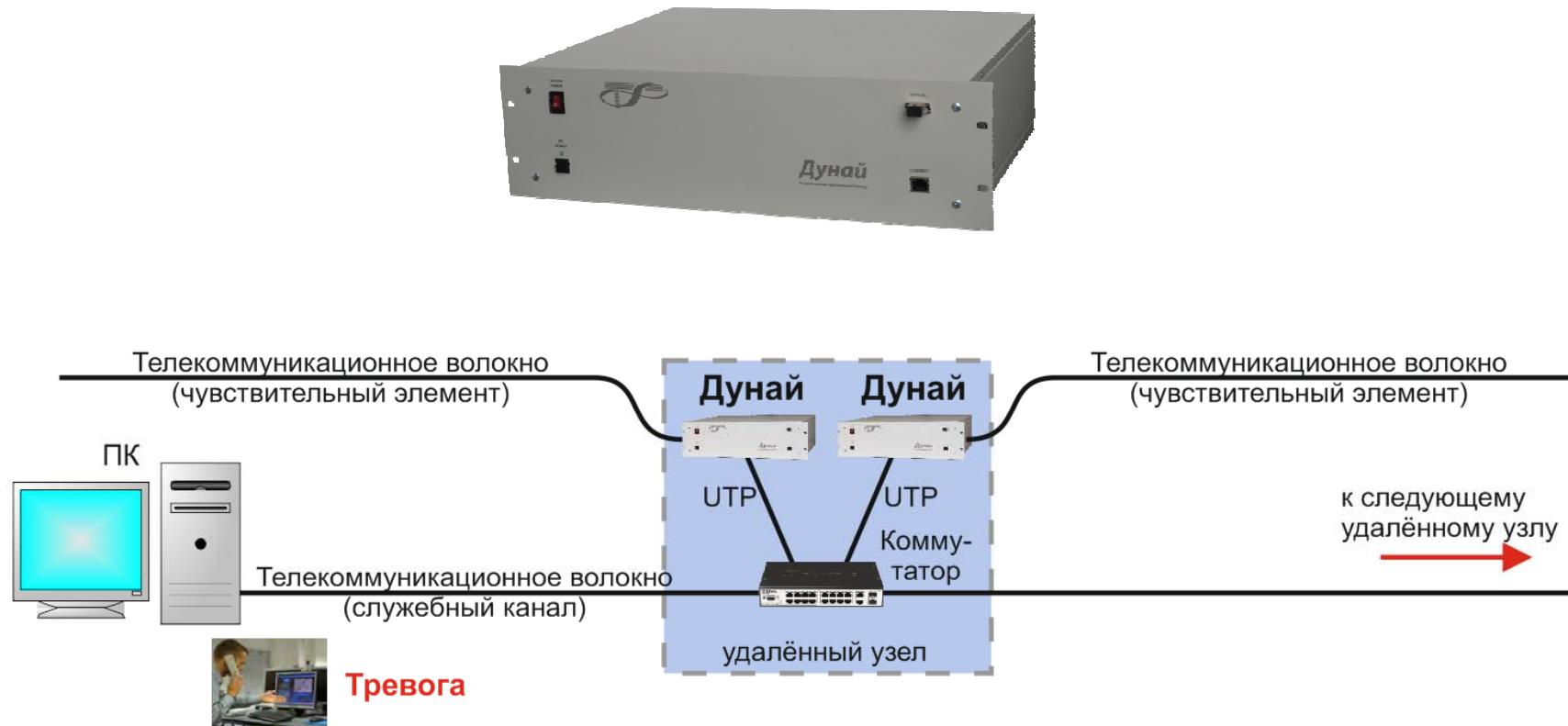
DP-8PSK



DP-16QAM



Когерентный рефлектометр «Дунай»



Параметр	Значение
Максимальная длина волоконно-оптической линии (ВОЛ)	до 40 км
Точность детектирования места события	\pm 10 м

Заключение

- **Проектирование и инсталляция.** К 2011 ООО «Т8» создало 35 000 км магистральных DWDM сетей.
- **Теория и эксперимент.** Масштабные эксперименты по исследованию нелинейности и граничных параметров при создании магистральных DWDM сетей.
- **Разработка и производство.** За 2010-2011г разработано и запущено в серию более 10 типов блоков DWDM и CWDM систем.
- Создан 40G мукспондер с параметрами мирового класса.
- Ведутся НИР для создания перспективных систем 100G, 400G и др.

Спасибо за внимание