



## Инновационные решения для интеллектуального, гибкого и прозрачного, фотонного уровня перспективных сетей связи

Семен Коган  
12.10.2011

Всероссийская конференция по волоконной оптике  
ВКВО-2011, г.Пермь

# Содержание

**Высокоэффективные конвергентные сети:**  
*основные компоненты транспортного уровня*

Коммутация каналов в фотонном (T-ROADM) и электронном (OTN) транспортных доменах

Эволюция к 100G. Выбор форматов модуляции

Инновации Bell Labs

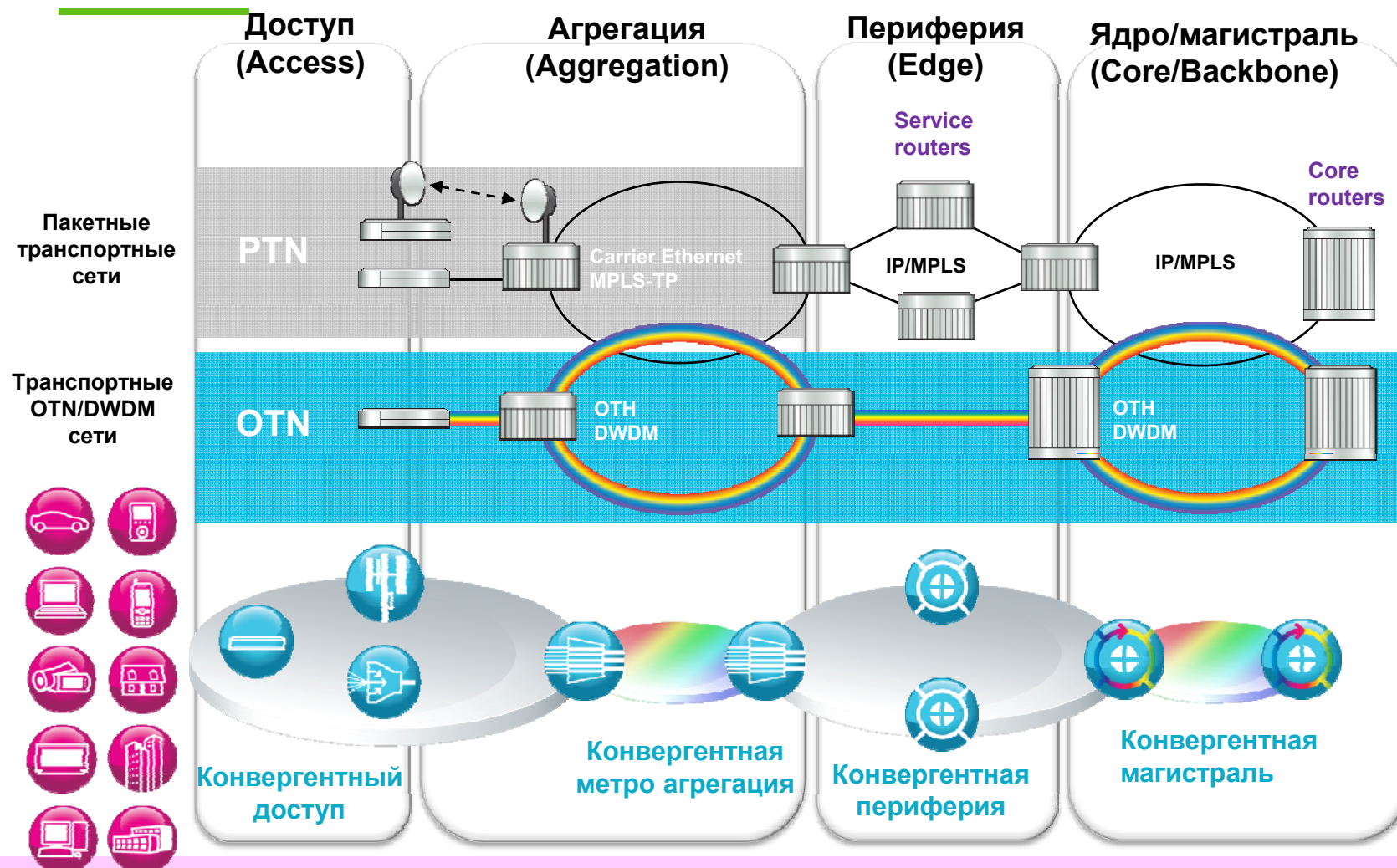
# Развитие высокоэффективных конвергентных сетей

## Концепция HIGH LEVERAGE NETWORK (HLN)



# HIGH LEVERAGE NETWORK (HLN)

*Ключевые транспортные компоненты высокоэффективных сетей*



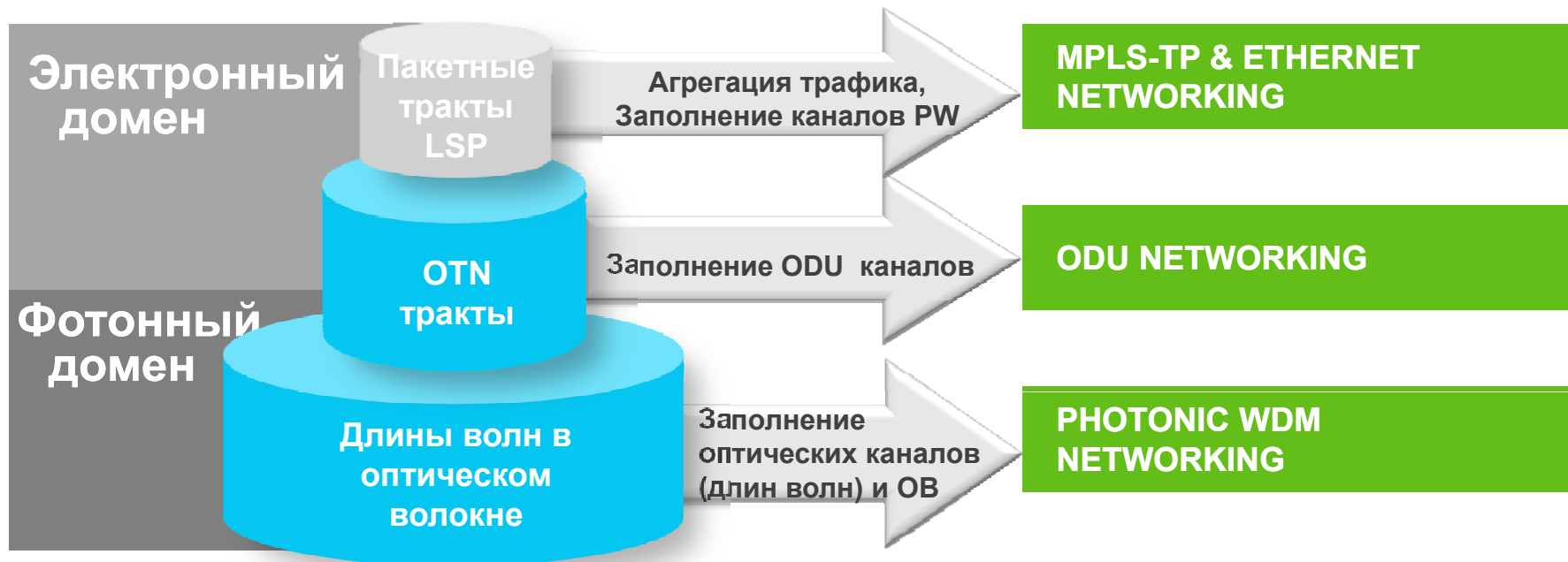
Портфель конвергентных Optical & Microwave продуктов следующего поколения обеспечивает гибкость, масштабируемость, автоматизацию процессов, а также эффективные по стоимости и энергопотреблению сетевые решения



# HIGH LEVERAGE NETWORK (HLN)

*Эволюция к следующему поколению транспортных систем*

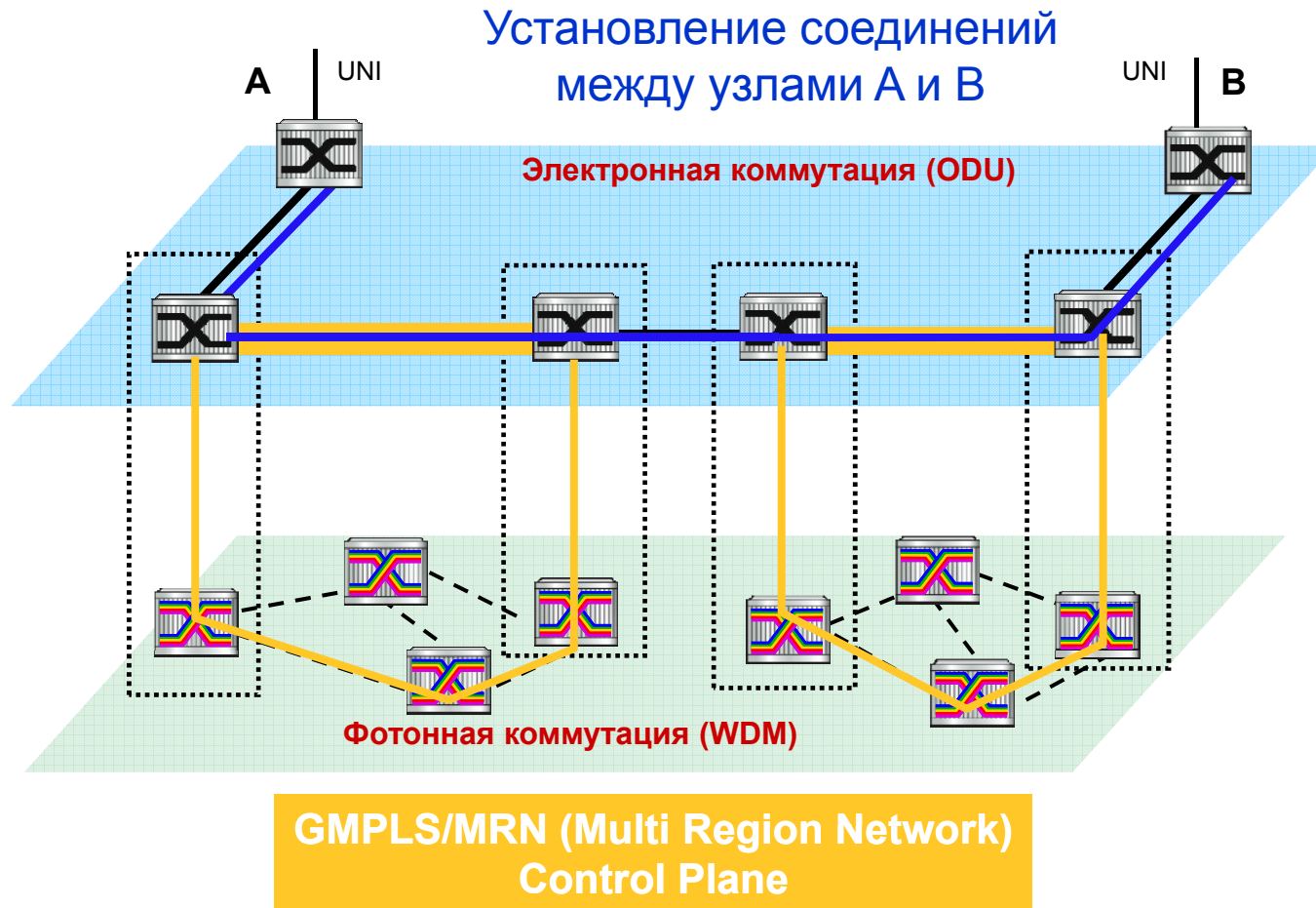
Три основных слоя обеспечивают достижение необходимой масштабируемости и эффективности



Обслуживание, контроль и управление, согласование и сквозная автоматизация, конвергенция технологий

# Функциональность ASON/GMPLS в WDM/OTN сети

Автоматизация предоставления услуг и обслуживания



Решения для MRN control plane позволяют эффективно использовать коммутацию на фотонном и электронном уровне для общего снижения затрат

# Интеллектуальное взаимодействие IP и OPTICs систем на уровне Control Plane с использованием интерфейса UNI\* (ASON/GMPLS)

Атрибуты услуг/Обслуживания

IP Offload  
Динамическое занятия полосы  
Брокерство по полосе

OTN функциональность

Автоматизация соединений  
сквозь слои сети

Решение Alcatel-Lucent

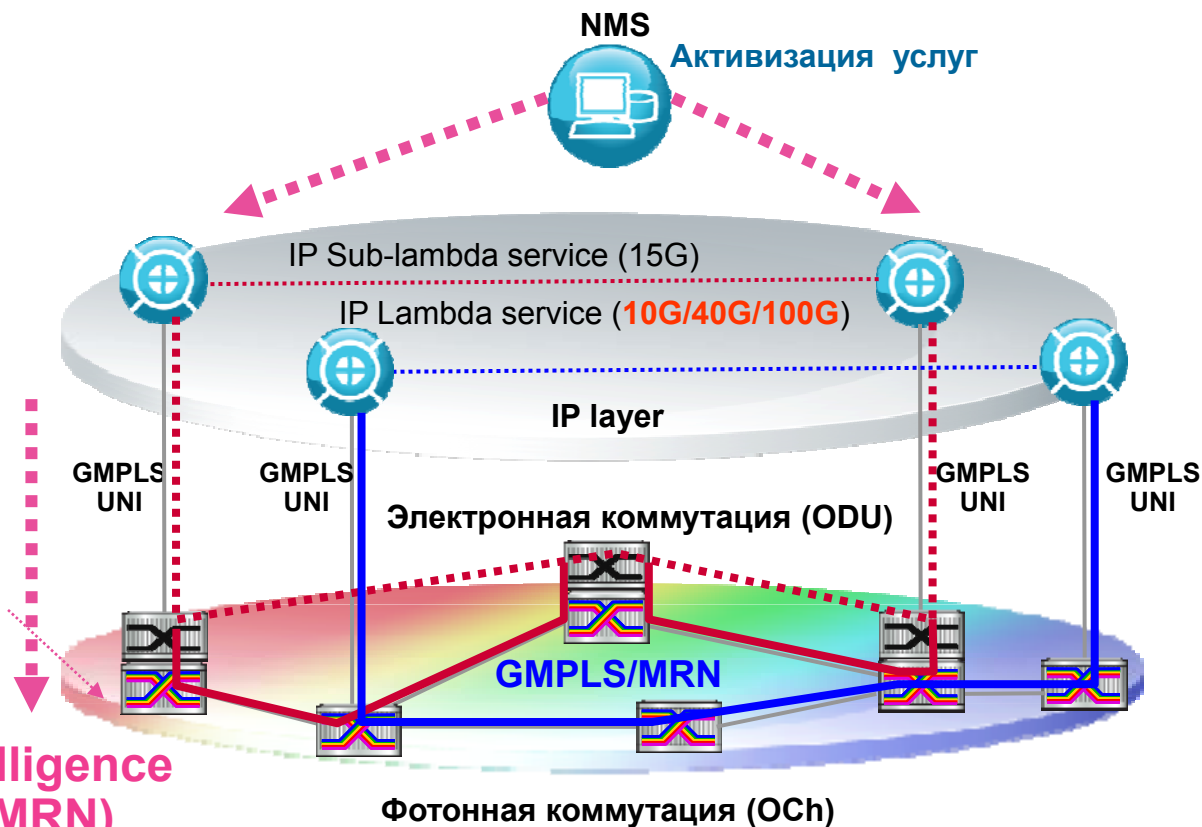
Координация при  
взаимодействии фотонного &  
электронного доменов

**Этап 0** Независимые уровни: IP маршрутизации, электронная и фотонная коммутация

**Этап 1** Конвергентный оптический транспортный уровень: электронная и фотонная коммутация

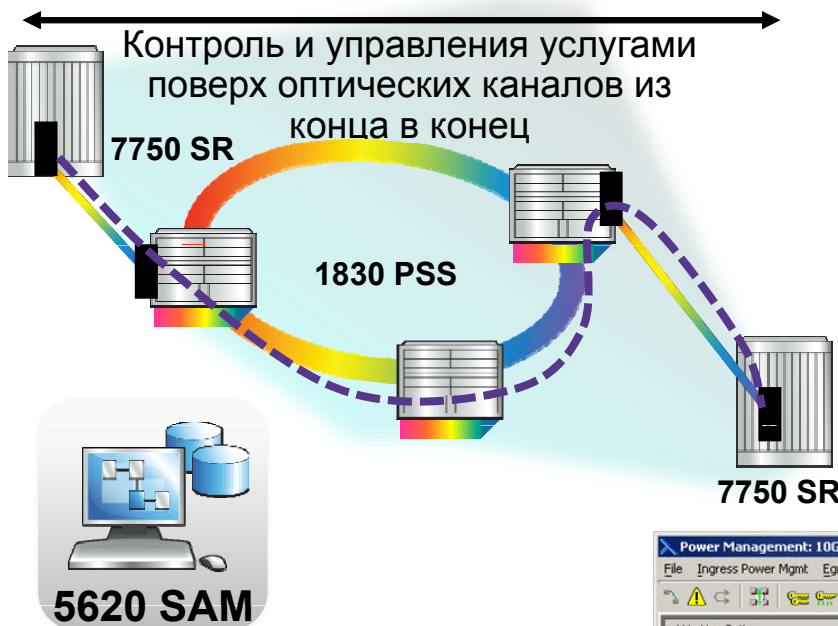
**Этап 2** Общий Control Plane: интеллектуальные решения GMPLS, Multi Regional Networks (MRN)

**Этап 3** Интеграция IP и оптического транспортного уровня



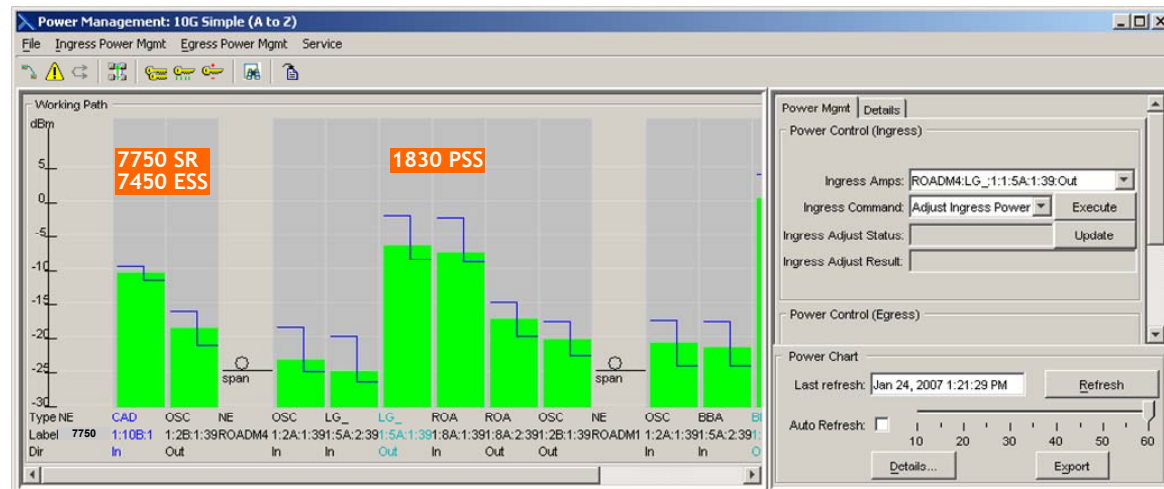
**GMPLS control plane intelligence  
Multi Region Network (MRN)**

# Пример интегрированной IP/OPTICs системы управления 5620 Service Aware Management (SAM)



- Управление LAMBDA услугами из конца в конец (End-to-end) management
- Организация соединений по принципу «Point-and-click»
- OAM, включая мониторинг, из конца в конец (End-to-end alarms & PM)
- Графическое отображение уровней мощности по всему маршруту LAMBDA соединения
- Возможность ручной подстройки уровня выходной мощности на транспондере

**Wavelength Tracker**  
обеспечивает наблюдение  
за трактом из конца в конец,  
включая IP маршрутизаторы  
и фотонные коммутаторы





# Содержание

Высокоэффективные конвергентные сети:  
*основные компоненты транспортного уровня*

**Коммутация каналов в фотонном (T-ROADM) и  
электронном (OTN) транспортных доменах**

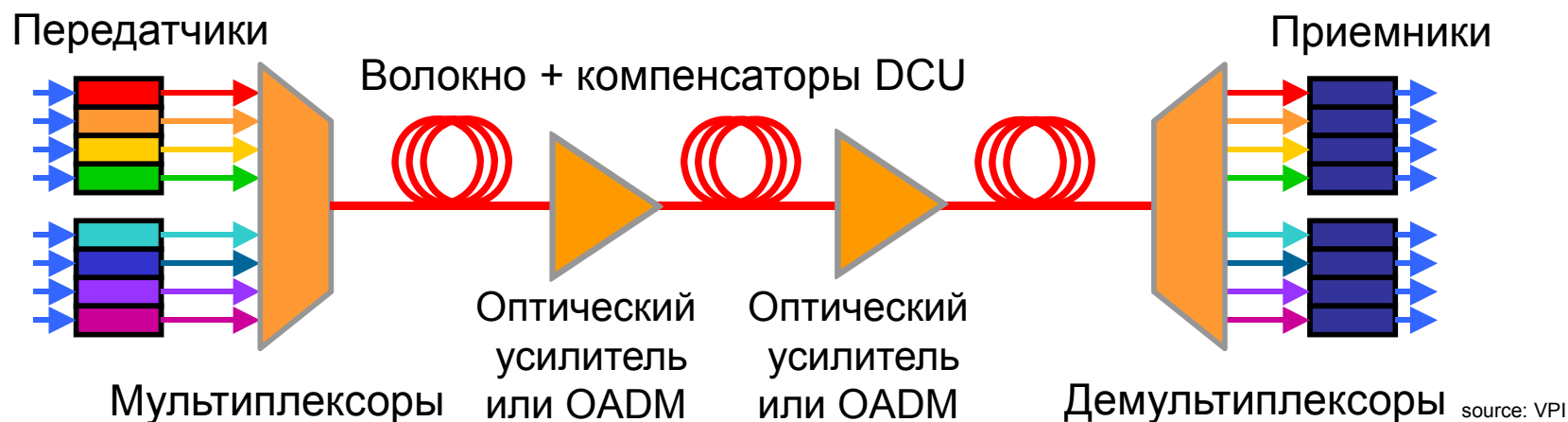
Эволюция к 100G. Выбор форматов модуляции

Инновации Bell Labs

# DWDM сеть

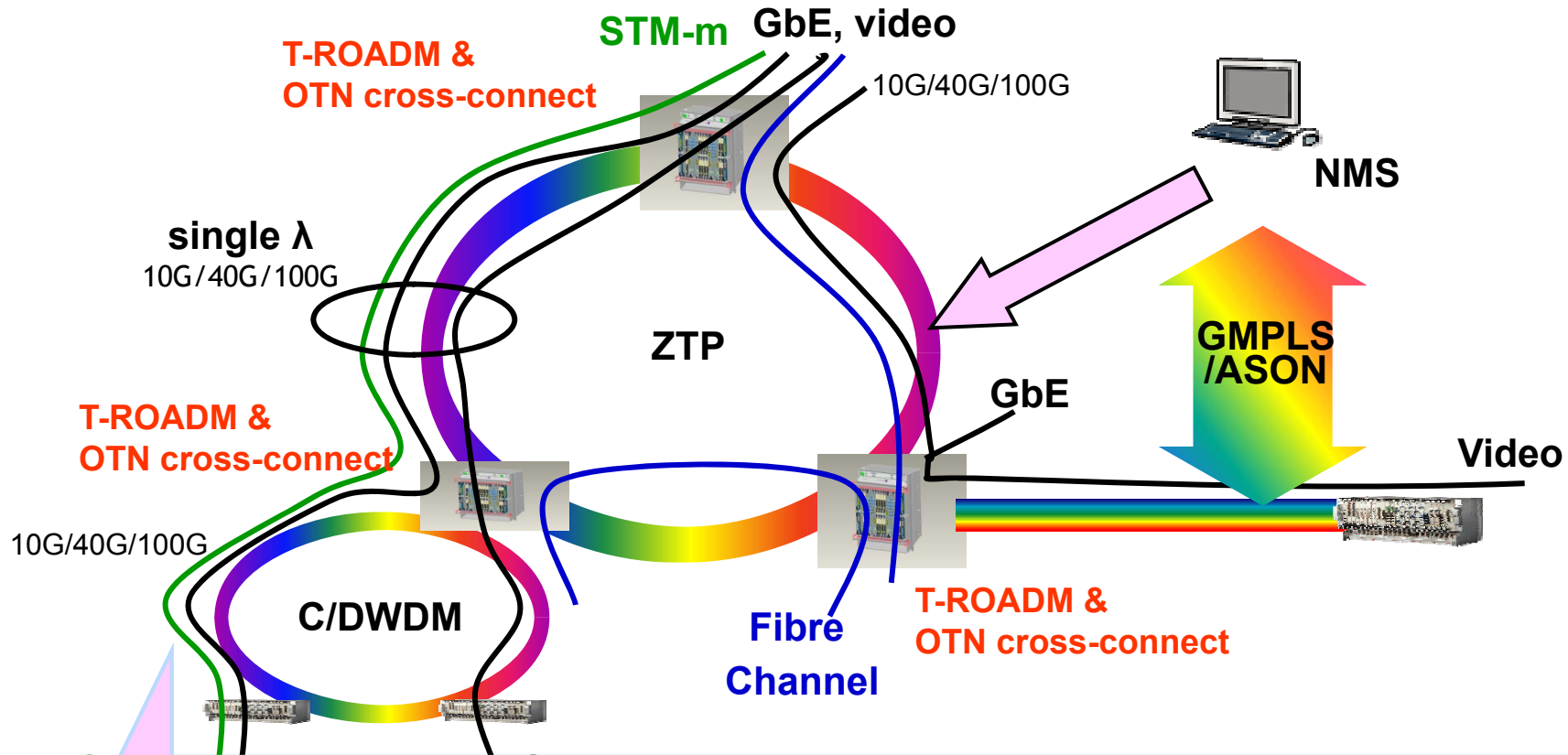
## Функциональные элементы

- Передатчики
- Мультиплексоры
- Оптические волокна
- Оптические усилители
- Демультимплексоры
- Приемники
- Полностью оптические узлы ОХС, OADM, ROADM, TOADM
- Узлы с 3R регенерацией (OTM, HUB)
- Компенсаторы хроматических дисперсионных искажений DCU
- Компенсаторы поляризационных дисперсионных искажений



# Концепция Zero Touch Photonic (ZTP)

Гибкий фотонный DWDM/OTN домен с ASON/GMPLS функциональностью



**ST**

N-связные узлы с фотонной (T-ROADM) и электронной (OTN) коммутацией каналов.

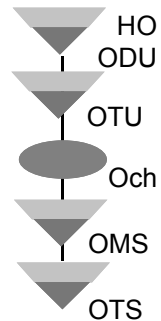
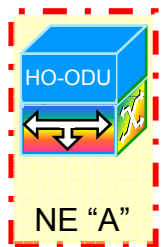
Интеллектуальные сети с автоматическим установлением соединений и/или обходом пораженного участка сети (restoration)

ASON/GMPLS Control & Data Plane

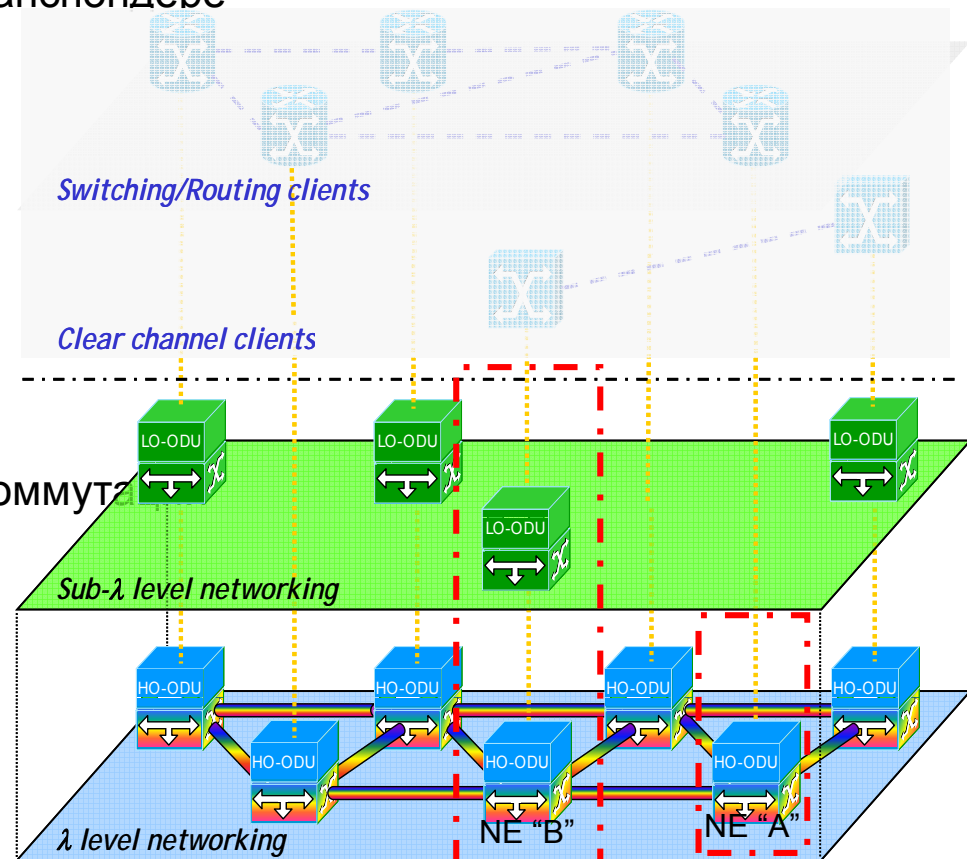
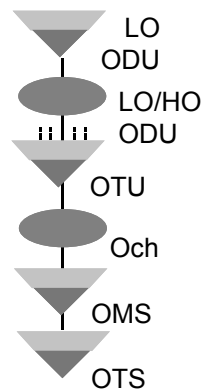
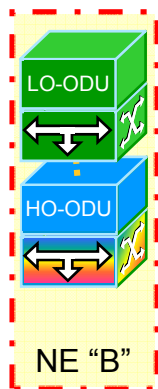
# Концепция Zero Touch Photonic (ZTP). Сочетание фотонной (T-ROADM) и электронной (OTN matrix) коммутации в узлах сети

Рассматриваются два основных типа узлов

А) Узел А фотонной коммутации с OTN cross-connect функциональностью в оптическом транспондере



В) Узел В фотонной коммутации с выделенной кросс-матрицей OTN коммутации



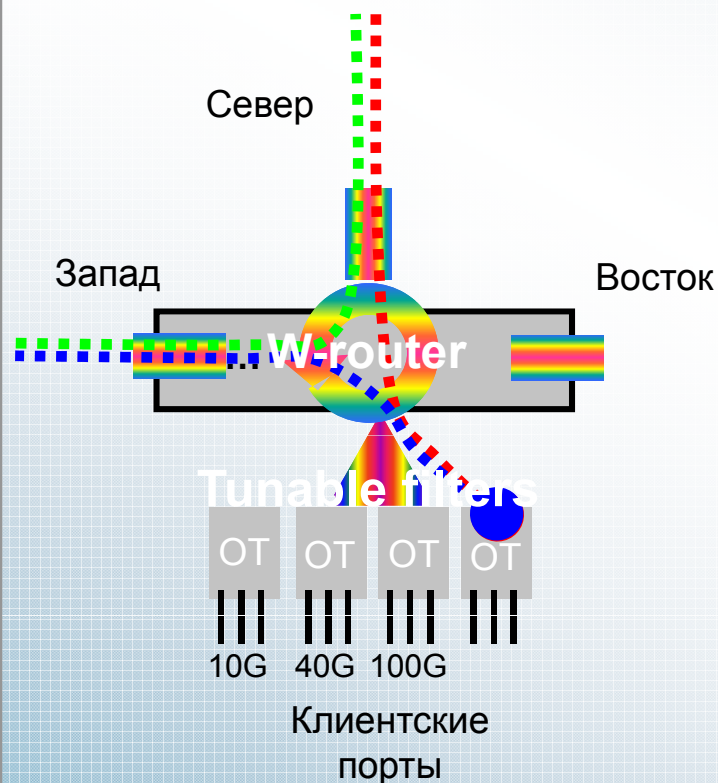
# Перестраиваемые ROADМ (T-ROADM) с или без архитектуры

*Переключение любой длины волны на любое направление.*

*Colorless/Directionless T-ROADM*

## Перестраиваемая ROADМ

архитектура



Сетевая гибкость

Полная

Предоставление услуг

Быстрое

**Доступ к клиентских услугам  
поверх любой длины волны в  
любом направлении**

- **WSS - селективные переключатели по длинам волн оптического излучения**
- Полностью перестраиваемые оптические транспондеры
- Много связные и много направленные узлы
- Готовность к нагрузкам 10G/40G/100G

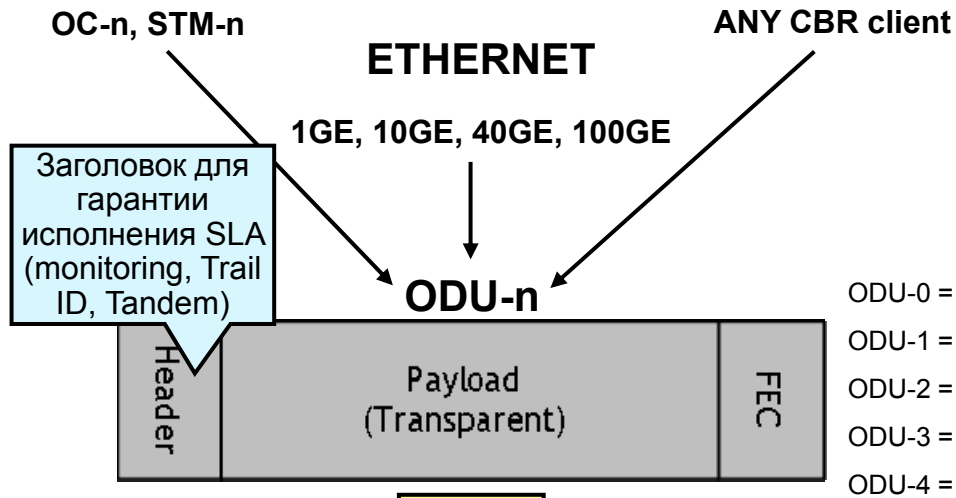


# Optical Transport Hierarchy (OTN/OTH)

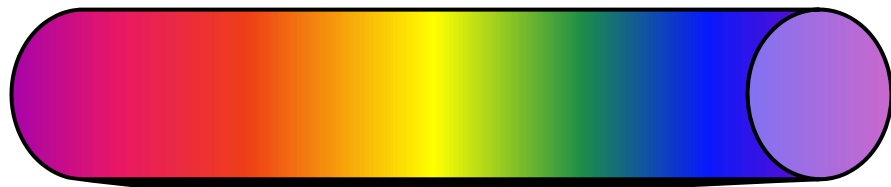
Определения для DWDM сети Оптические транспортные блоки

**OTN = электрический + фотонный уровни**

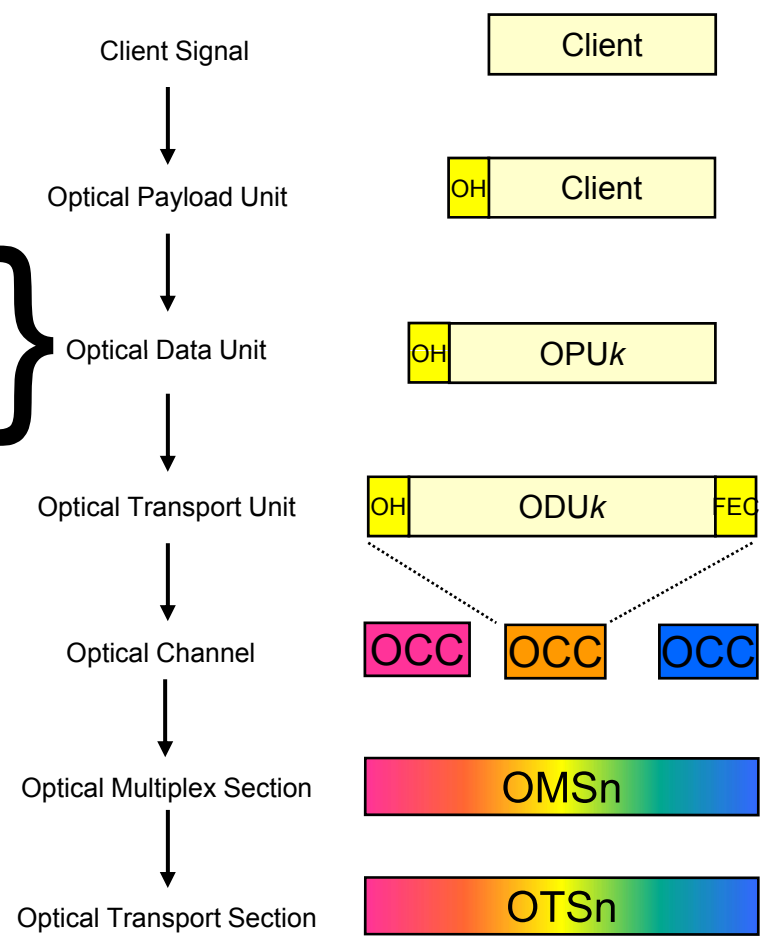
SONET/SDH



**OTN Multiplexing**

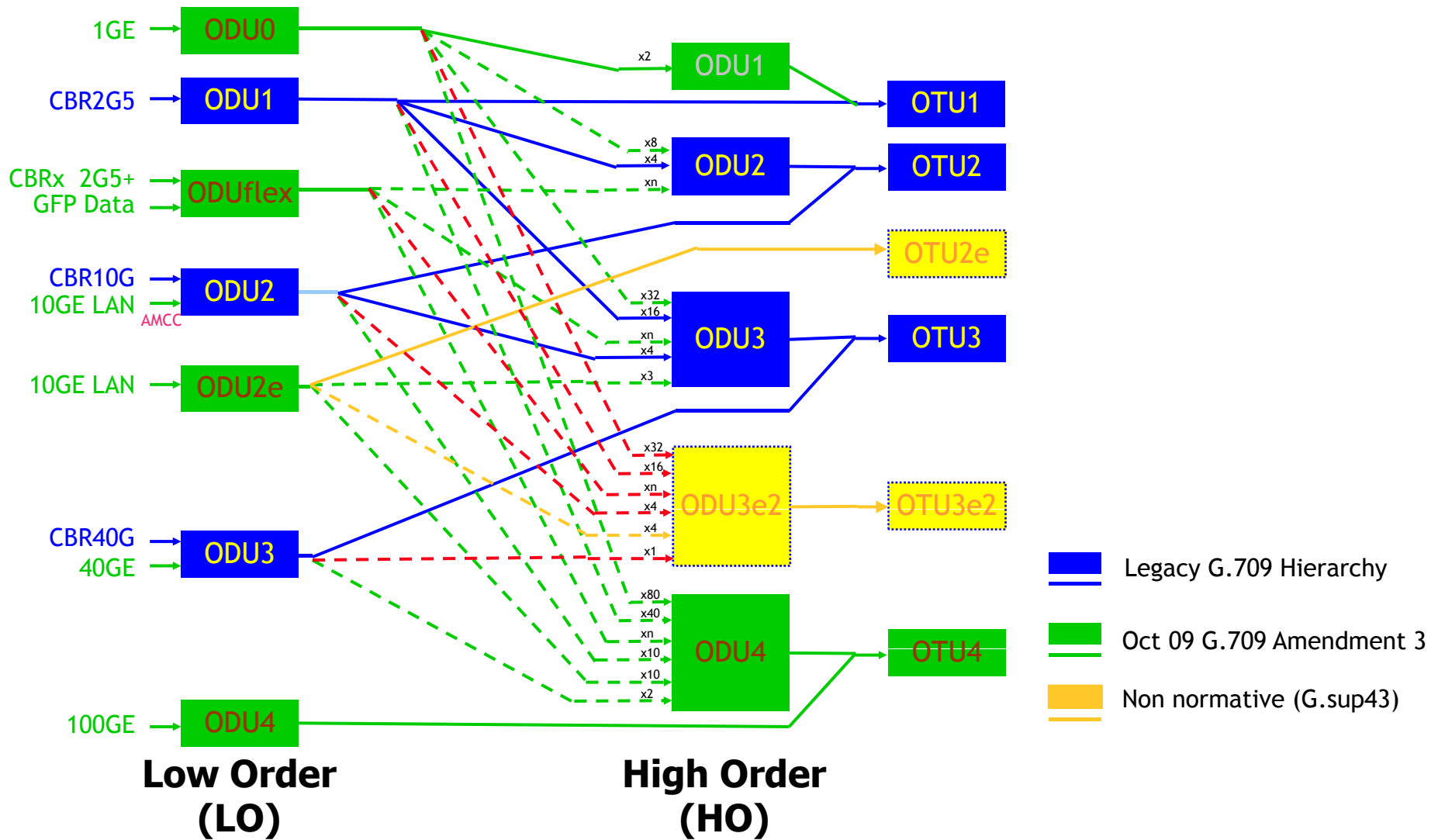


**Optical Channel**



# OTN иерархия

Соответствует ITU-T (рек. G.709)



# Содержание

Высокоэффективные конвергентные сети:  
основные компоненты транспортного уровня

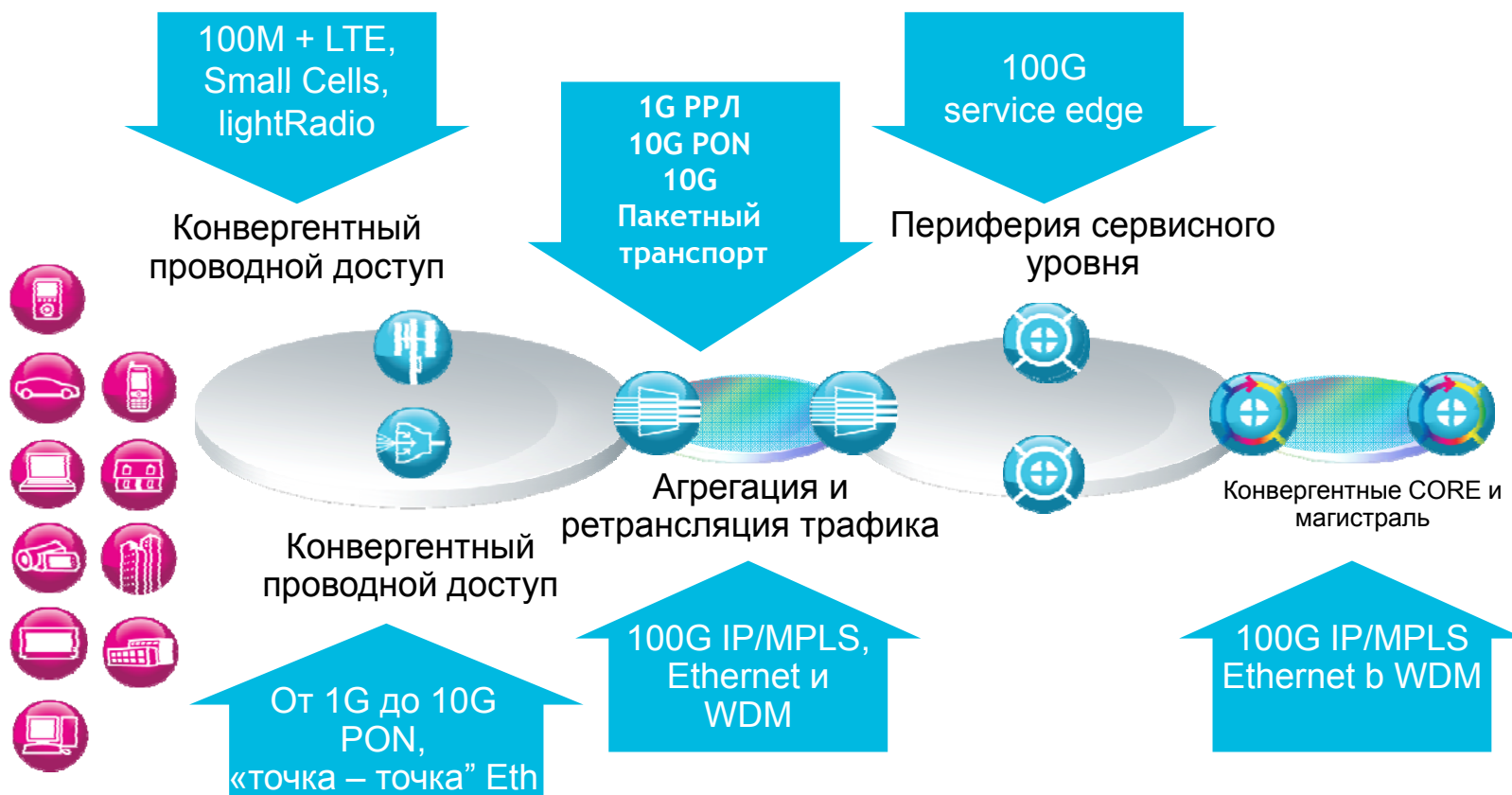
Коммутация каналов в фотонном (T-ROADM) и  
электронном (OTN) транспортных доменах

**Эволюция к 100G. Выбор форматов модуляции**

Инновации Bell Labs

# HIGH LEVERAGE NETWORK (HLN)

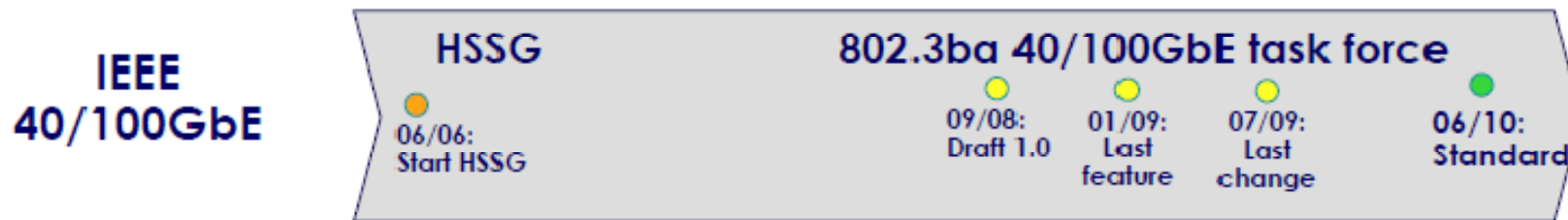
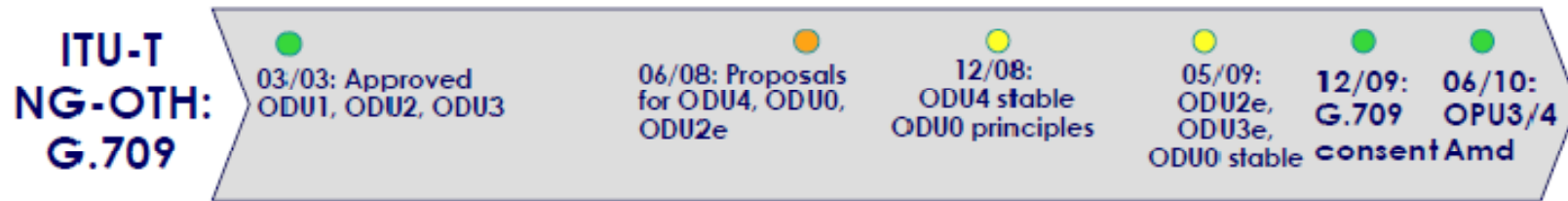
Эволюция к 100G от агрегации до магистрали



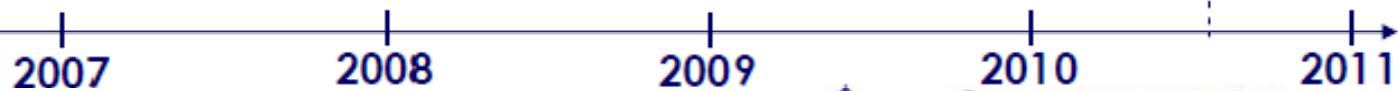
Управление пропускной способностью сквозь все уровни сети, от доступа через уровень агрегации и ретрансляции до периферии сервисного уровня, ядра и магистрали

# Standardization Activities

## Schedule of NG OTN Standardization

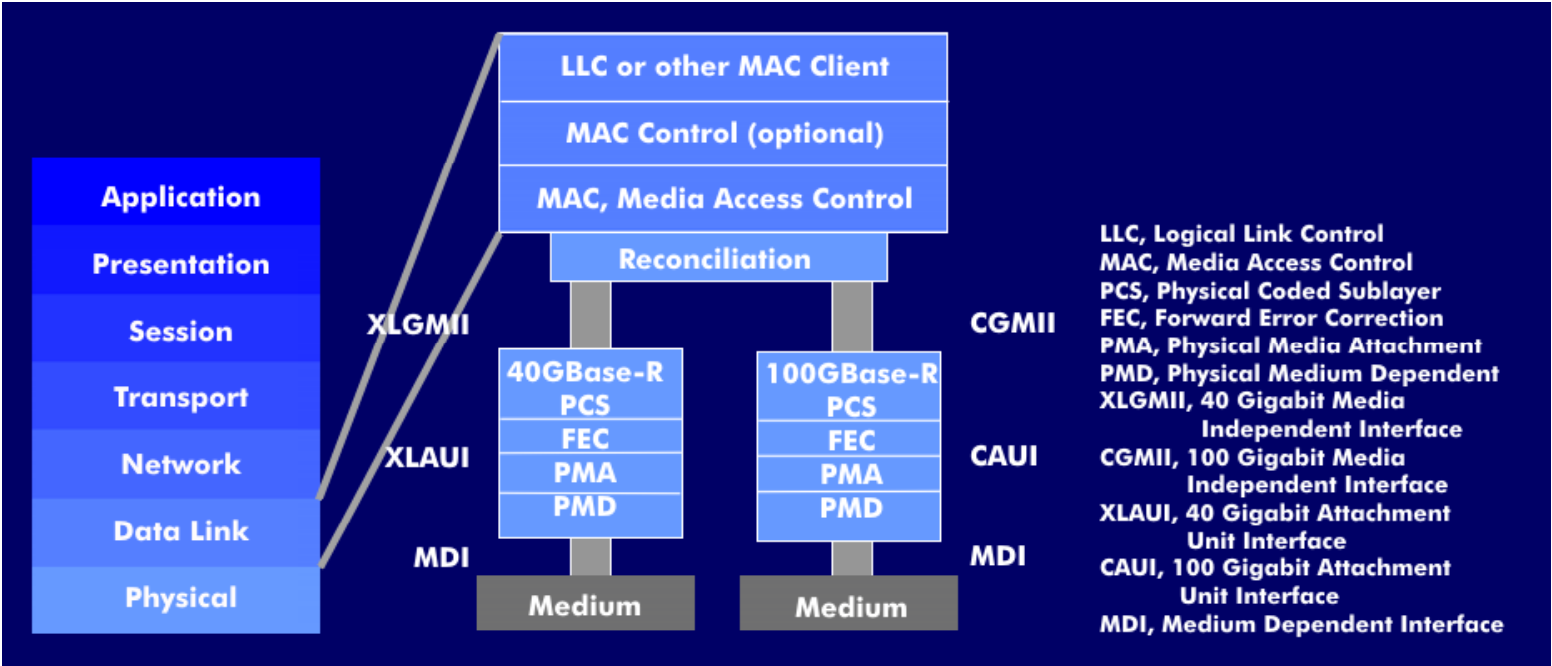


- = draft stadium
- = stable contents
- = Approval

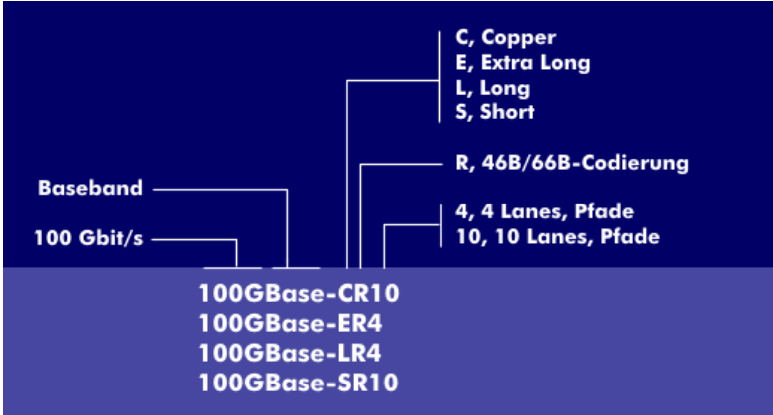




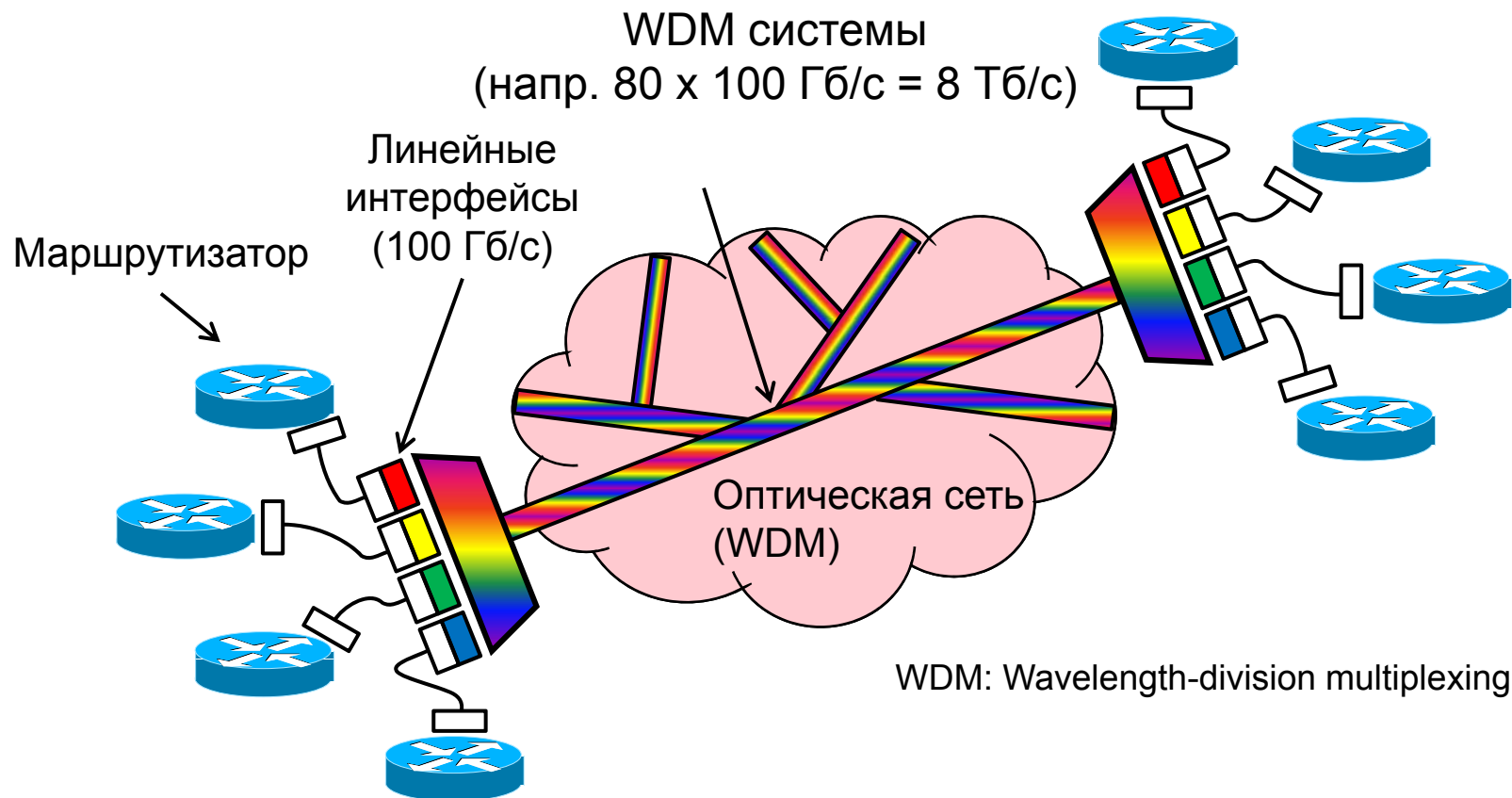
# IEEE спецификация на клиентские интерфейсы 40G/100G



40-Gigabit-Ethernet-Schnittstelle	100-Gigabit-Ethernet-Schnittstelle	Medium	Entfernung
40GBase-KR4 4 x 10 Gbit/s		Backplane	1 m
40GBase-CR4 4 x 10 Gbit/s	100GBase-CR10 10 x 10 Gbit/s	C, Copper	10 m
40GBase-SR4 4 x 10 Gbit/s	100GBase-SR10 10 x 10 Gbit/s	S, Short	100 m
40GBase-LR4 4 x 10 Gbit/s	100GBase-LR4 10 x 10 Gbit/s	L, Long	10 km
	4 x 25/10 x 10 Gbit/s	4 Monomode	
	100GBase-ER4 4 x 25 Gbit/s	E, Extra Long	40 km
		4 Monomde	



# Многоканальные оптические системы DWDM большой пропускной способности (100G, T-ROADM, OTN)



Ключевая технология #1: терабитные системы WDM с каналами 100G  
Ключевая технология #2: реконфигурируемые узлы = гибкая сеть

# Оптические терабитные транспортные системы

## Bell Labs: прорыв в технологиях 100G

**Paris, June 9, 2010 Alcatel-Lucent.** Прорыв в технологиях оптических транспортных систем. Началось производство первой в мире коммерческой магистральной системы WDM с пропускной способностью 8.8 Тб/с (80 x 100G). В системе использован метод передачи 100G на одной оптической поднесущей с системой когерентного приема и цифровой обработкой сигнала следующего поколения .



*"That this is a commercial release, and not just talk about a product roadmap, is quite a surprise. Alcatel-Lucent must have stepped up its development cycle, and that's significant,"*

*"With this announcement, Alcatel-Lucent takes the leadership crown away and leaves Nortel in the position of playing catch-up to release a single carrier 100G systems"*

**Sterling Perrin, Senior Analyst ,  
Heavy Reading**



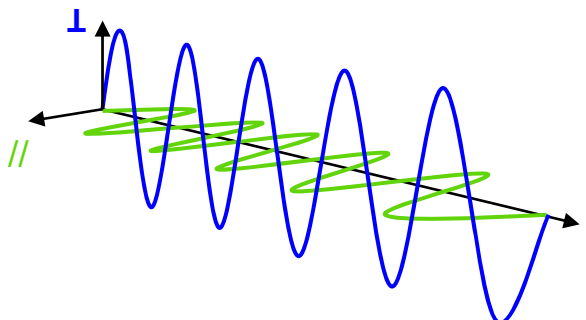
*"Our discussions with service providers tell us that the Alcatel-Lucent next generation coherent single sub-carrier approach is clearly the right solution going forward and that the advantages and benefits are very viable for 100G."*

**EVE GRILICHES,  
MANAGING PARTNER, ACG RESEARCH**

# Передача 100G на одной несущей

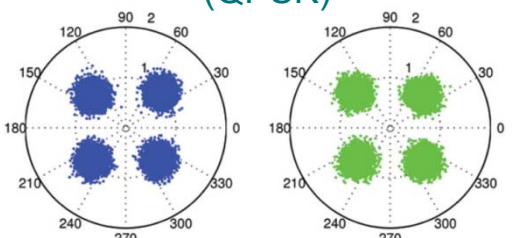
## Модуляция PDM-QPSK с когерентным детектированием

**Polarization Division Multiplexing (PDM)**



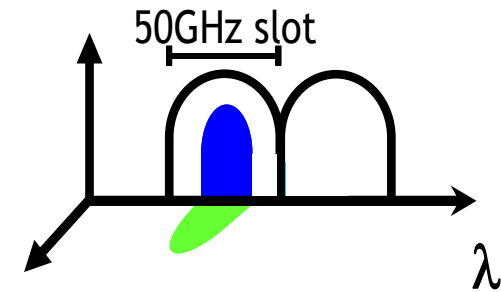
Одна оптическая несущая включает две поляризационные составляющие (в слот сетки 50ГГц)

**Quaternary Phase Shift Keying (QPSK)**

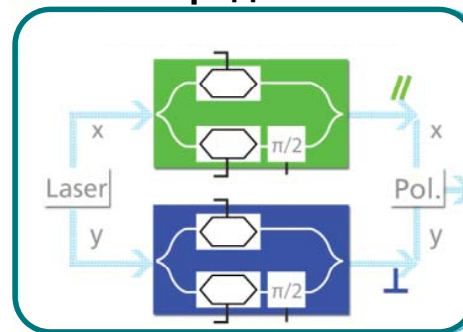


Каждая поляризация переносит 4 состояния (позиции) фазы (2 бита)

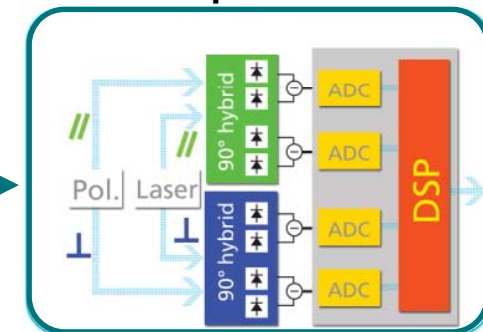
4 бит/символ  
28 ГБод



100G PDM-QPSK  
Передатчик



Next-Generation Coherent  
Приемник



Повышенная скорость передачи символов (28 ГБод) обеспечивает лучшую защиту от нелинейных эффектов (XPM, генерируемую существующими каналами 10G)  
Быстродействующие алгоритмы электрооптического преобразования и алгоритмов цифровой обработки сигнала

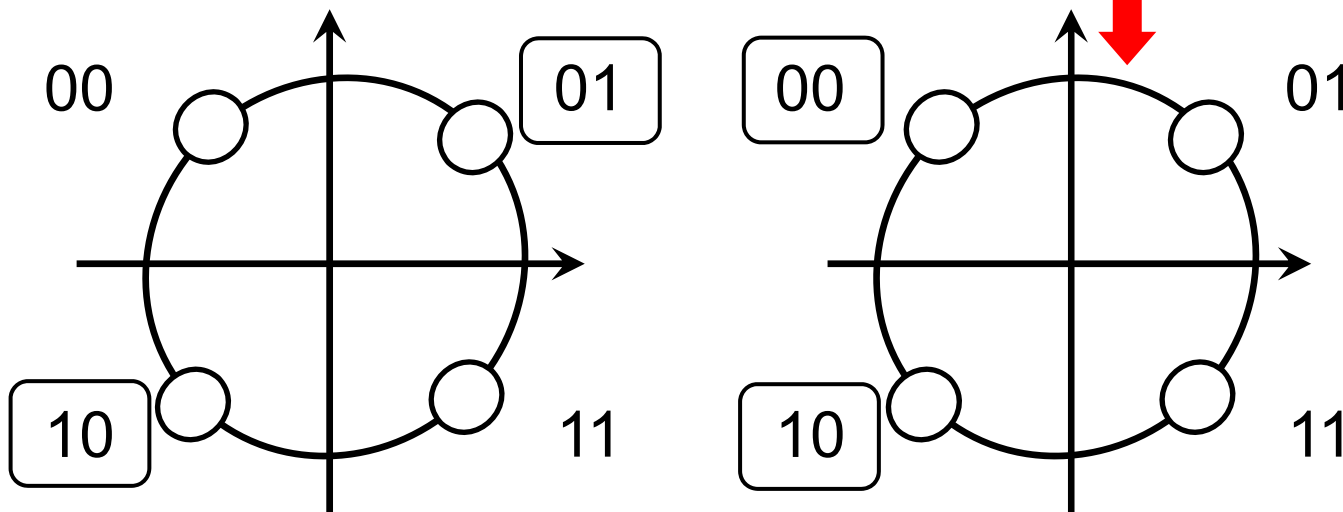
# Инновационная схема модуляции 100G

“Hello World!”



```

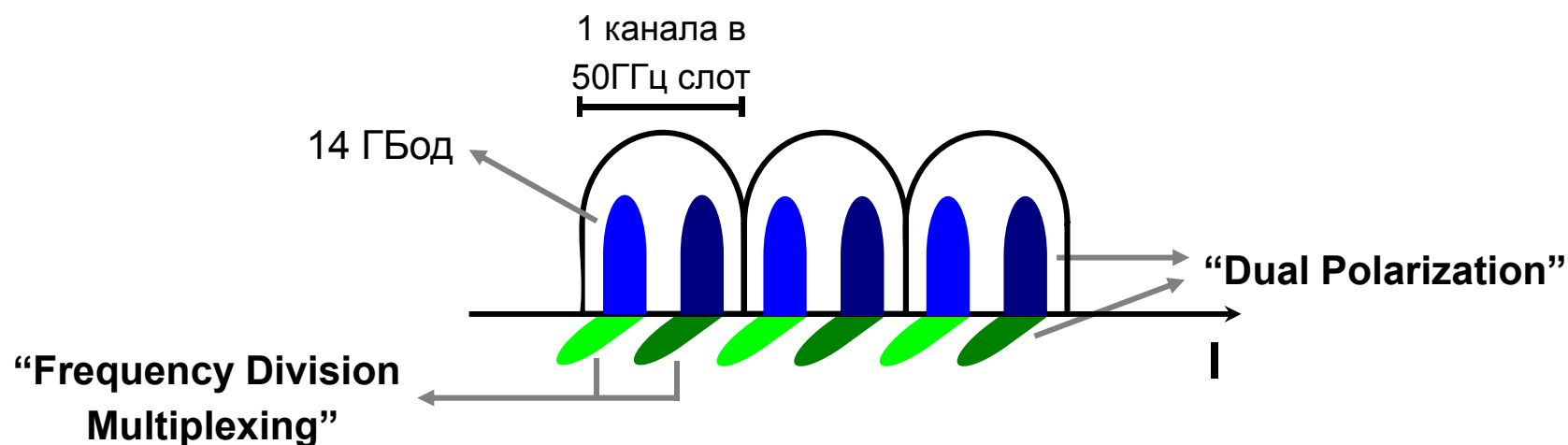
010010000110010101101100011
01100110111100100000010101
1101101111011100100110110001
10010000100001
    
```





## Другие варианты формата модуляции для 100Gb/s

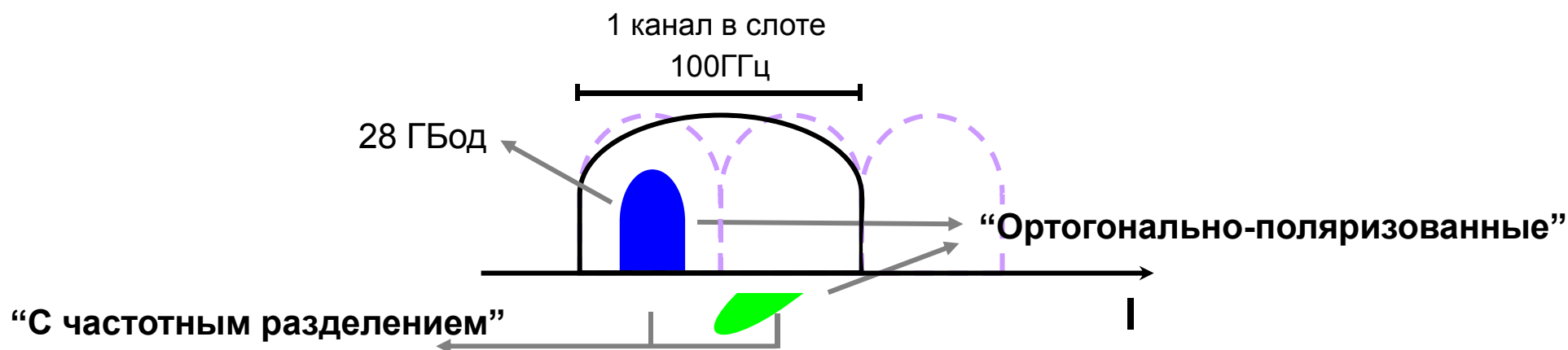
- Некоторые производители, в ожидании появления АЦП и ЦОС с требуемым быстродействием предложили временное решение:
  - **Coherent FDM DP-QPSK (Frequency Division Multiplexing Dual Polarization QPSK)**
    - Каждый 100G канал разделяется на две поднесущие 50G PDM-QPSK, разделенные интервалом в 25ГГц
    - Скорость в символах (Бод): 14 ГБод (= 112 Гб/с / 8 бит/ символ)
    - Проигрыш в объеме оборудования, расстояниях (фильтрация) и в возможностях компенсации CD и PMD



## Другие варианты формата модуляции для 100Gb/s

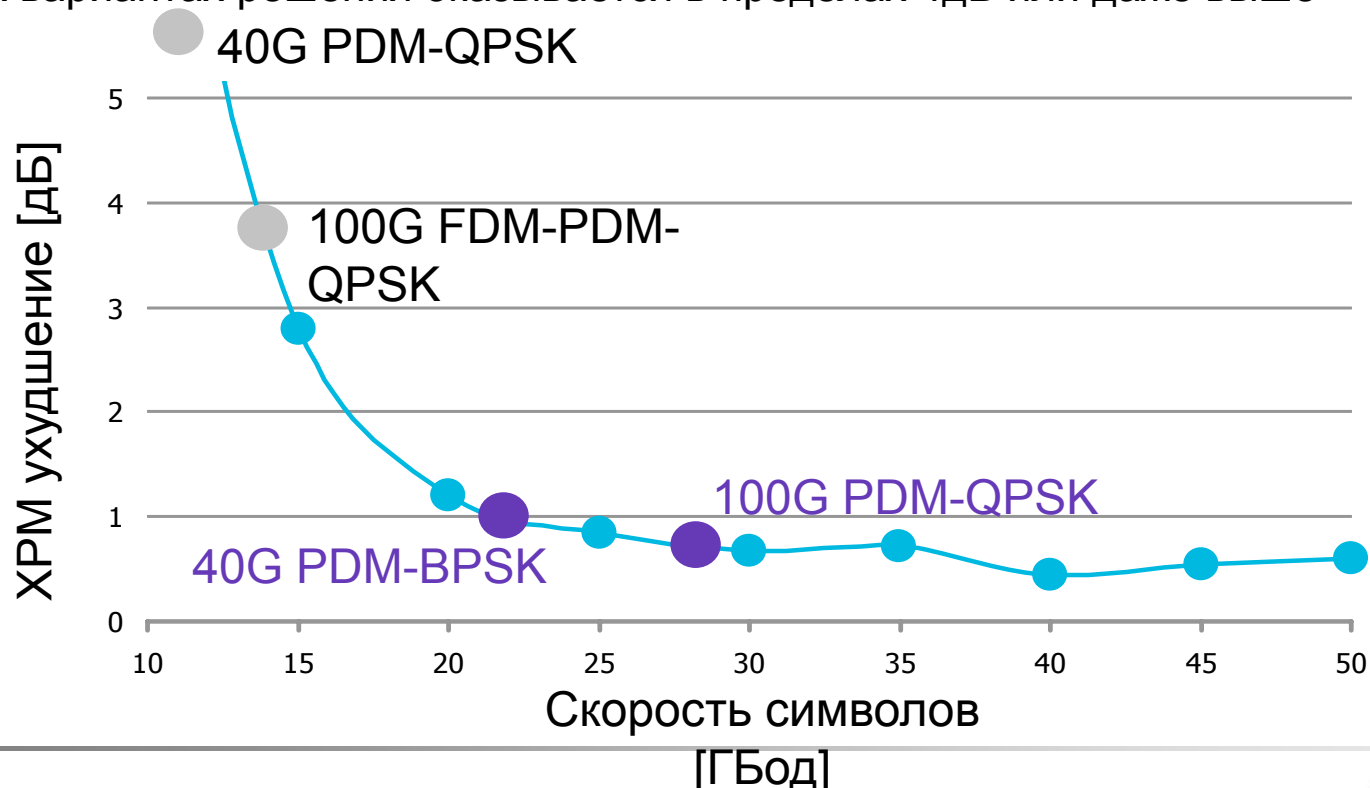
- **OPFDM-RZ-DQPSK (Orthogonal-Polarized Frequency-Division-Multiplexed RZ-DQPSK) с дифференциальным приемом**

- Каждый канал 100G разделяется на две 50G RZ-DQPSK поднесущие, разделенные интервалом 50GHz и ортогонально поляризованные
- Скорость в символах: 28 ГБ/с (= 112 Гбит/с / 4бит/символ)
- Приемник НЕ когерентный, но основан на оптической фильтрации и детектировании (также как 40G RZ-DQPSK)
- Ограничения по сетке частот - только 100ГГц (не более ~44 каналов)
- Плохая совместимость с каналами 10G, ограничения по дальности и сложности оборудования



## 100G PDM-QPSK: лучшая совместимость с каналами 10G

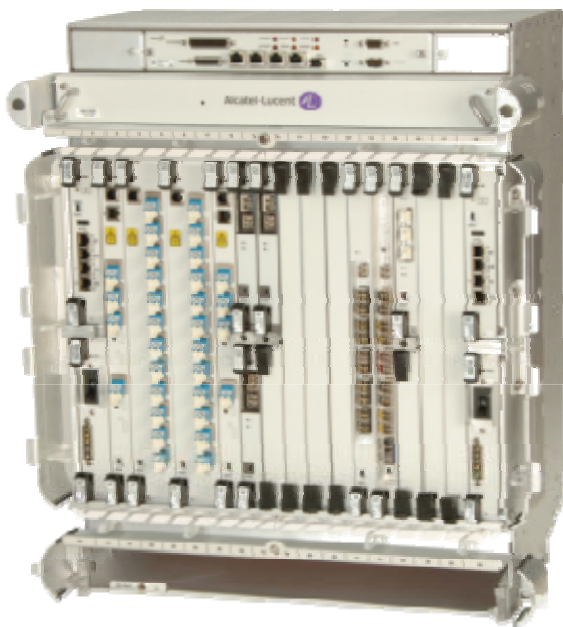
- Влияние XPM, генерируемых со стороны каналов 10G, уменьшается по мере возрастания скорости в символах в секунду (Baud-rate): чем выше скорость в Бодах, тем больше защита от нелинейных взаимодействий с соседними каналами 10G
- Улучшенная защита каналов 100G PDM-QPSK и 40G PDM-BPSK связана с используемой высокой скоростью символов в секунду
- Когда ухудшение в OSNR в решении ALU находится в диапазоне 1дБ, ухудшение для других вариантах решения оказывается в пределах 4дБ или даже выше



# 1830PSS: когерентные решения 100G

Транспондер/Мукспондер

1830 PSS-32



Доступны  
начиная с 1830  
PSS R.3.0 (июнь  
2010)

10x10G OT концентратор



10GE (LAN/WAN),  
OC-192, STM-64,  
OTU-2/2e/2e1, 8FC

100G OT

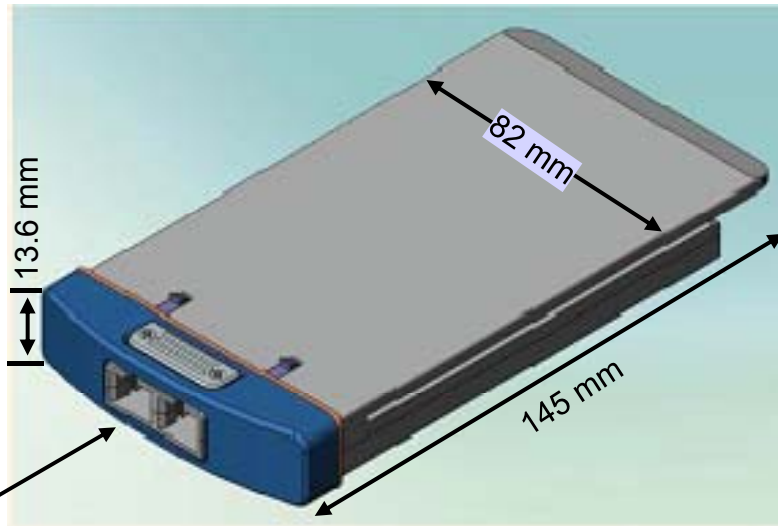


100GE  
OTU-4

# 1830PSS: клиентский интерфейс 100GE

- Выполнен в виде CFP модуля
- Доступны модули
  - LR 4 (4 x 25G) для дистанций до 10 km
  - LR10 (10 x 10G) для дистанций до 10 km

SLM  
 1295.58  
 1300.05  
 1304.58  
 1309.14



LC connector

Table 6.5 10x10G DML Wavelength Grid

WAVELENGTH (nm)	CHANNEL NUMBER
1523	1
1531	2
1539	3
1547	4
1555	5
1563	6
1571	7
1579	8
1587	9
1595	10

# Содержание

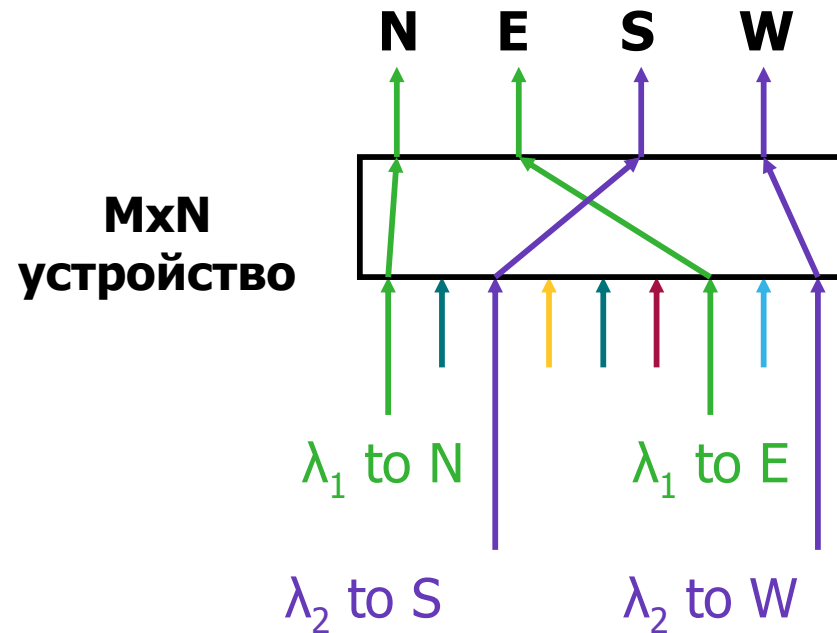
Высокоэффективные конвергентные сети:  
*основные компоненты транспортного уровня*

Коммутация каналов в фотонном (T-ROADM) и  
электронном (OTN) транспортных доменах

Эволюция к 100G. Выбор форматов модуляции

**Инновации Bell Labs**

## Новое в WSS - устройство MxN. *CONTENTIONLESS ROADM*



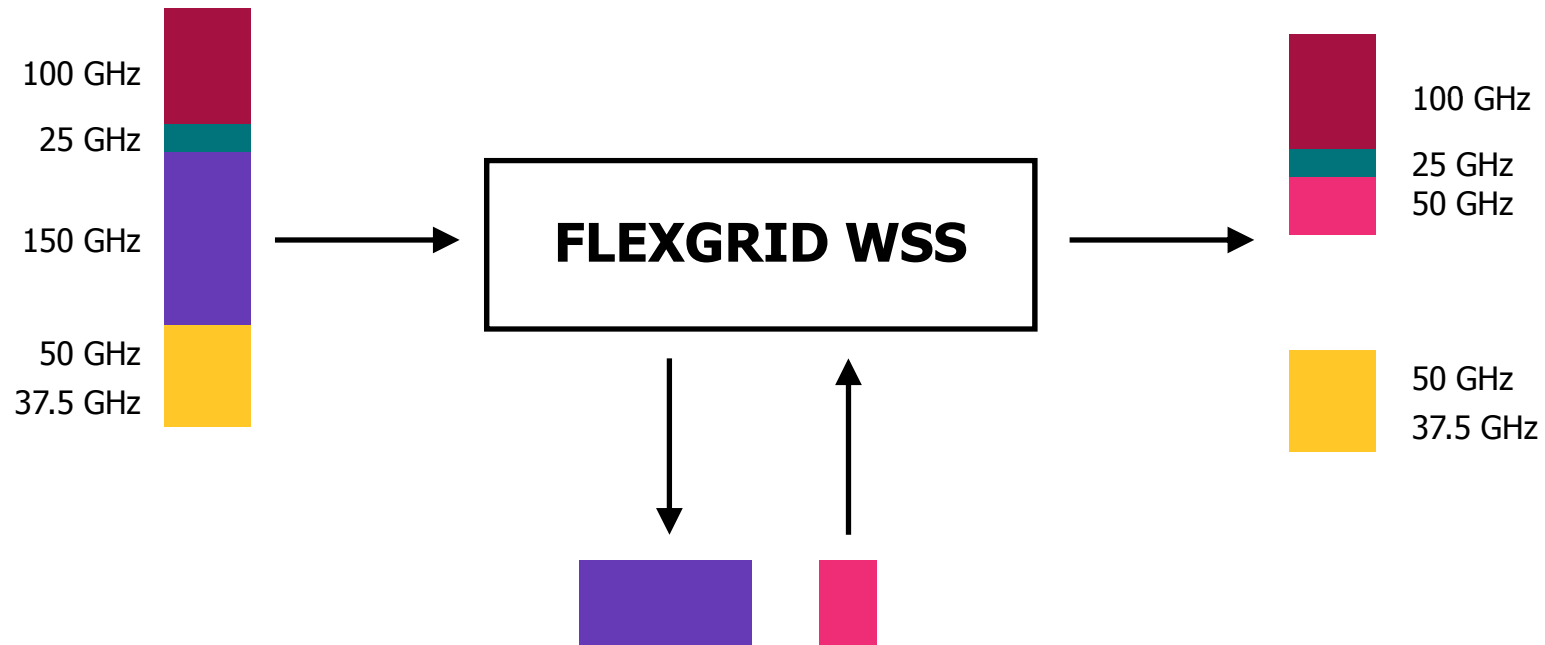
### MxN устройства

- Две (или более)  $\lambda$ s включаемые на разные направления могут использовать один и тот же блок ввода вывода
- Единое устройство, и поэтому нет проблем
- Очень сложно реализовать
- Это может быть MxN WSS или подобное устройство



# Новое в WSS - FLEXGRID WSS (каналы с гибкой сеткой частот)

Поддержка каналов с пропускной способностью >100G

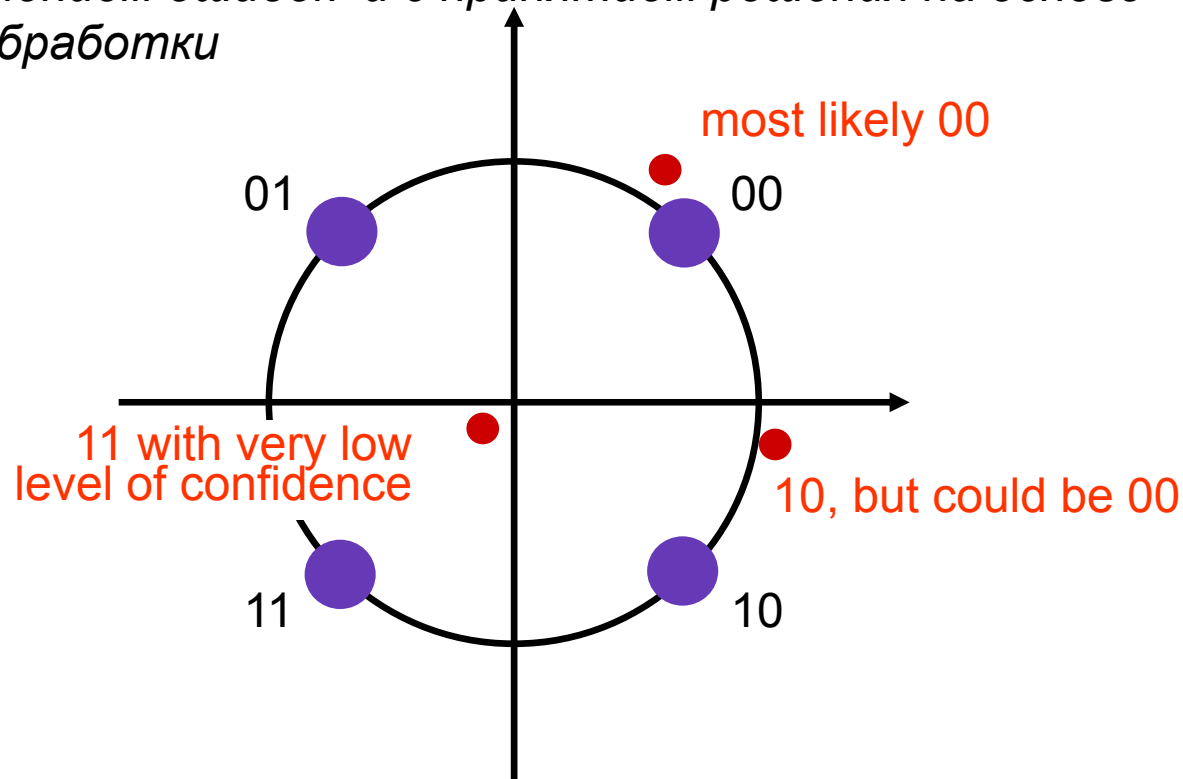


## FLEXGRID WSS

- Полоса предоставляется для каждого канала индивидуально
- Для скоростей 400Гб/с и 1Тб/с предоставляются длины волн в более широкой полосе частот, чем для “обычных” длин волн 10Гб/с, 40Гб/с и 100Гб/с
- Применяется как для сквозных каналов, так и на ввод/вывод
- Базовая сетка частот до 12.5 ГГц

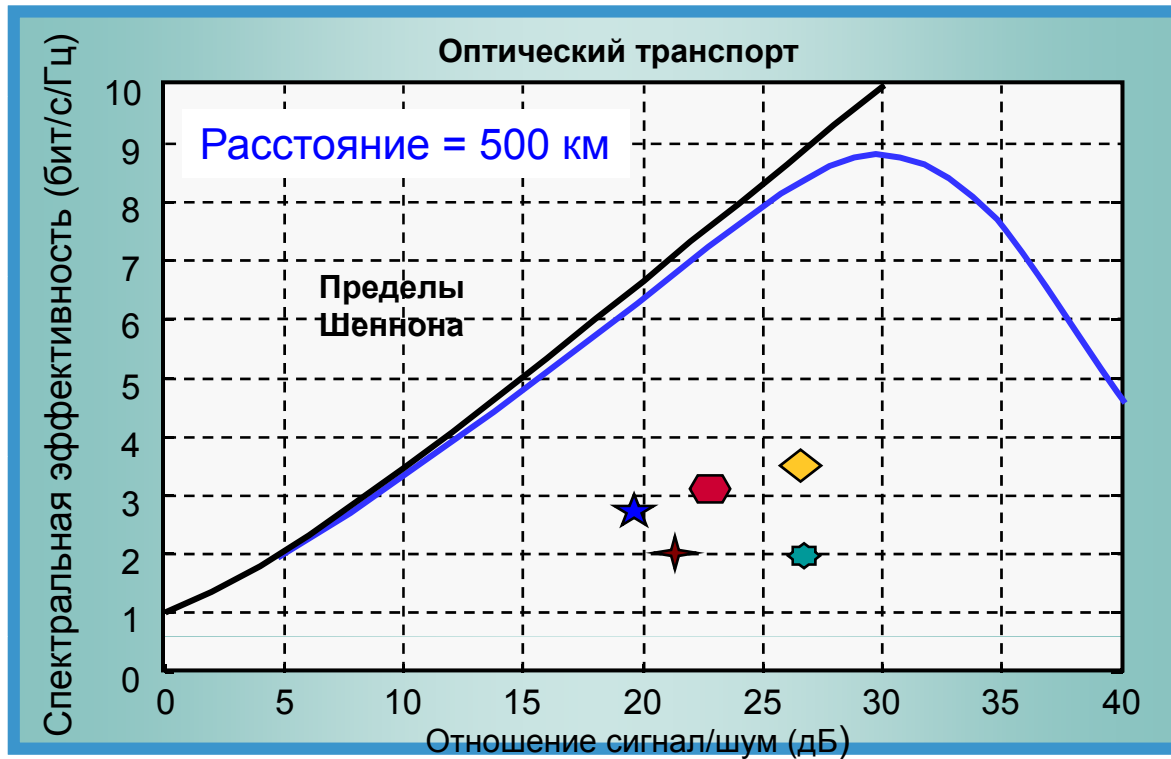
## Новое в FEC - SOFT decision FEC

Коды с исправлением ошибок и с принятием решения на основе программной обработки



- Ассоциация с каждым принятым бит (1 или 0) нескольких **программных бит** (sbits), которые отражают уровень «уверенности» в правильности принятых значений
- Путем применения **итеративного процесса**, информация о sbits анализируется с целью вынесения правильного окончательного решения с наибольшей вероятностью
- Применяемые sbits и итеративный процесс позволяет откорректировать большое количество ошибок, то есть работать **с более низкими значениями отношения сигнал/шум (OSNR)**

# Переход к терабитным скоростям передачи: приближение пропускной способности оптических транспортных систем к границам Шеннона



$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR})$$

The Bell System Technical Journal

Vol. XXVII

July, 1948

No. 3

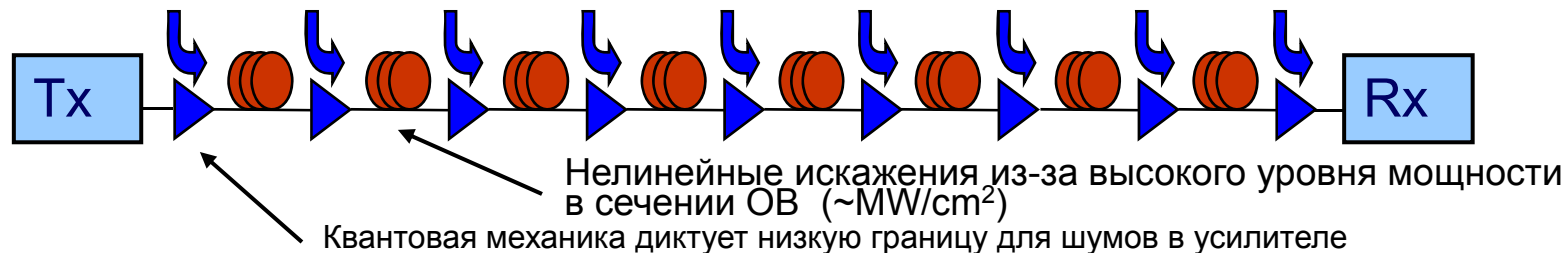
A Mathematical Theory of Communication

By C. E. SHANNON

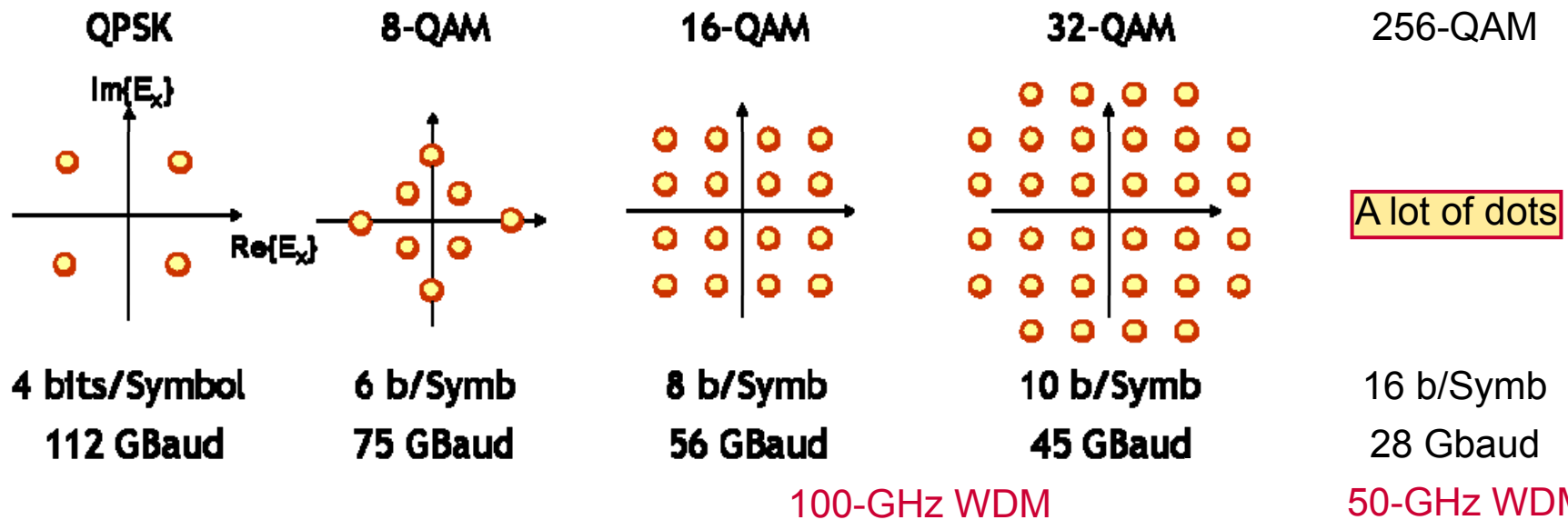
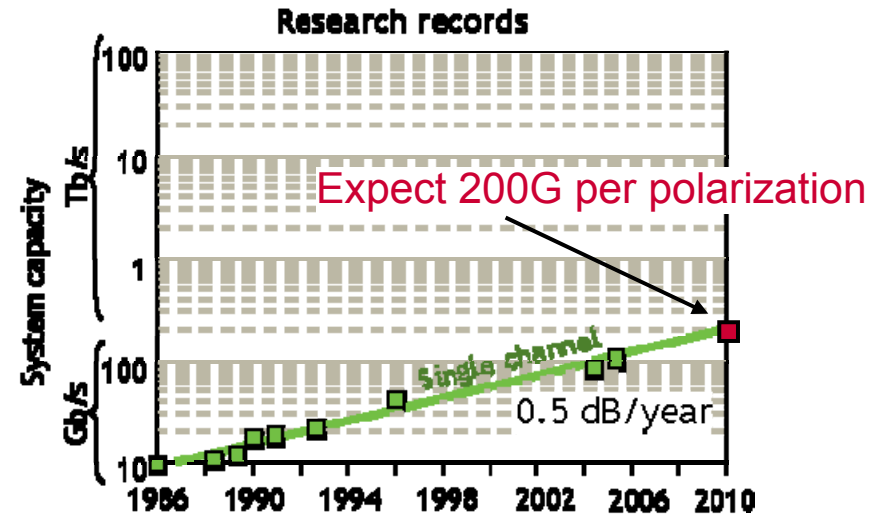
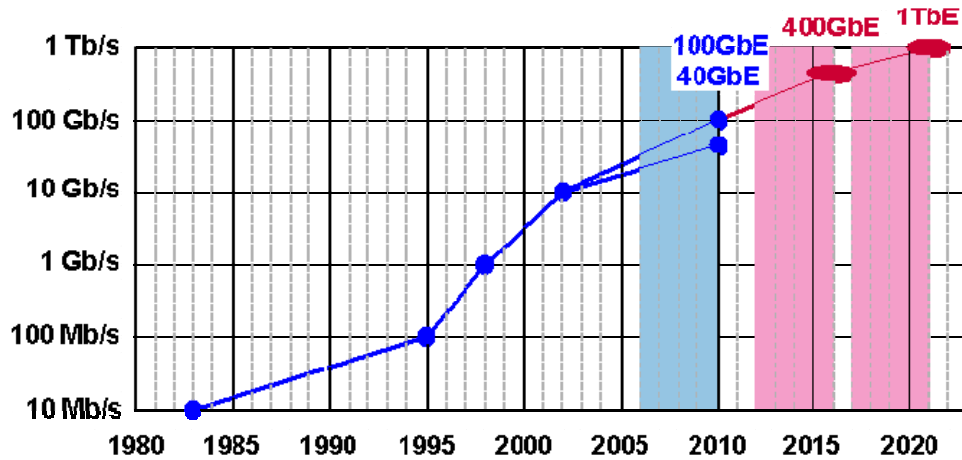
INTRODUCTION

THE recent development of various methods of modulation such as PCM and PPM which exchange bandwidth for signal-to-noise ratio has intensified the interest in a general theory of communication. A basis for such a theory is contained in the important papers of Nyquist<sup>1</sup> and Hartley<sup>2</sup>

## Распределенный шум

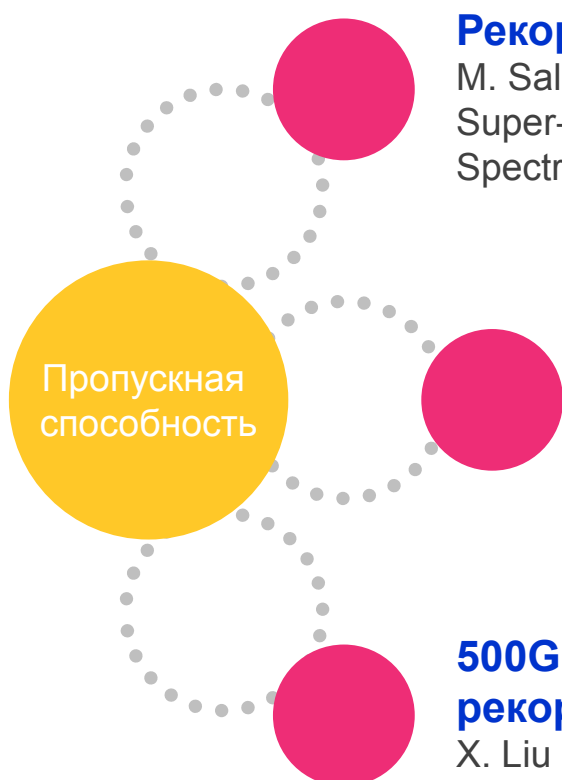


# Инновации Bell Labs: ближайшая цель - 400 Гб/с



## Bell Labs: рекордные достижения 2010 года

---



Пропускная  
способность

### 100G трансокеанская передача

#### Рекордное достижение для 100Гб/с

M. Salsi et al, "Transmission of 96×100Gb/s with 23% Super-FEC Overhead over **11,680km**, using Optical Spectral Engineering," paper, OFC 2010

### 400G последовательная передача

#### Рекордная скорость передачи

P. Winzer et al, "Generation and **1200-km** Transmission of 448-Gb/s ETDM 56-Gbaud PDM 16-QAM using a Single I/Q Modulator," post deadline paper, ECOC 2010

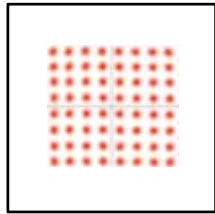
### 500G OFDM передача

#### рекордная скорость для одноканальной передачи

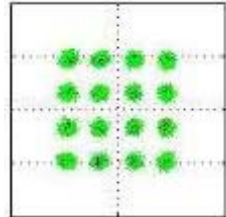
X. Liu et al, "Single Coherent Detection of a 606-Gb/s CO-OFDM Signal with 32-QAM Subcarrier Modulation Using 4x 80-Gsamples/s ADCs ," post deadline paper, ECOC 2010

# Разработки и исследования Bell Labs по технологиям 100G и выше. Представлены на ежегодных форумах ECOC

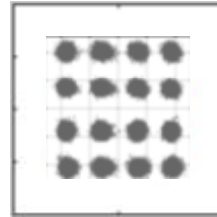
## Модуляция одной несущей:



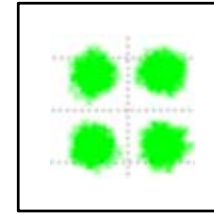
120 Gb/s 64-QAM  
 9 bit/s/Hz  
 160 km transm.  
 [A. Sano et al., ECOC'10]



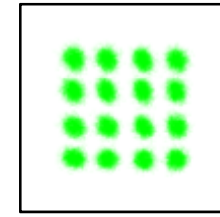
112 Gb/s 16-QAM  
 6 bit/s/Hz  
 630 km transm.  
 [P. J. Winzer et al., ECOC'08]



224 Gb/s 16-QAM  
 4 bit/s/Hz  
 1500 km transm.  
 [M. S. Alfiad et al., ECOC'10]

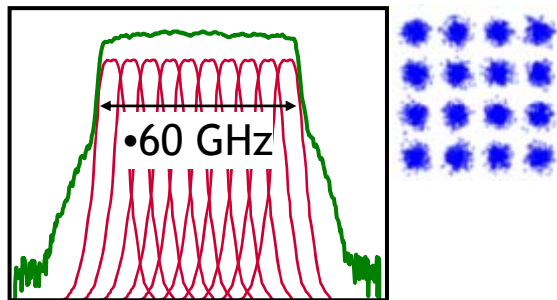


224 Gb/s QPSK  
 2 bit/s/Hz  
 1890 km transm.  
 [A. H. Gnauck et al., PTL'10]

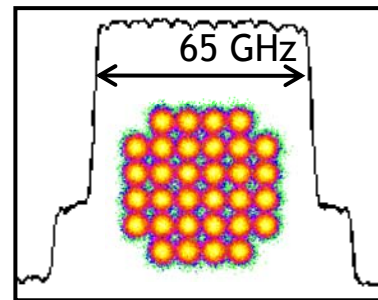


**448 Gb/s 16-QAM**  
**4 bit/s/Hz**  
**1200 km transm.**  
 [P. J. Winzer et al., ECOC'10]

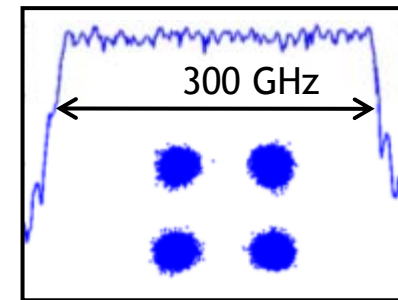
## Модуляция нескольких несущих- Optical OFDM:



448 Gb/s (10 subcarrier) 16-QAM  
 5 bit/s/Hz  
 2000 km transm.  
 [X. Liu et al., OFC'10]



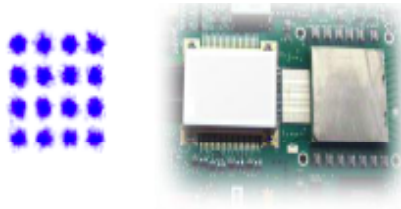
**606 Gb/s (10 subcarrier) 32-QAM**  
**7 bit/s/Hz**  
**2000 km transm.**  
 [X. Liu et al., ECOC'10]



1.2 Tb/s (24 subcarrier) QPSK  
 3 bit/s/Hz  
 7200 km transm.  
 [S. Chandrasekhar et al., ECOC'09]

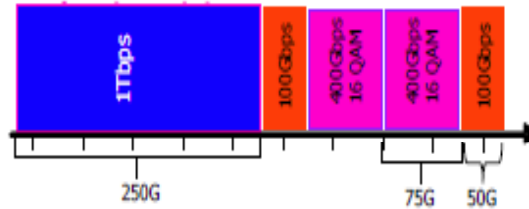
# Bell Labs: новые технологические разработки для достижения терабитных скоростей

**Инновационный метод модуляции, Коды с исправлением ошибок, оптоэлектронное преобразование, компенсация искажений**



Enables advanced modulation formats and SD FEC algorithms to recover lost SNR

**Гибкая сетка частот с шагом до 12.5 ГГц, ROADM**



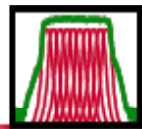
Enables efficient utilization of the overall Spectrum  
Can pack multiple width channels to reduce spectrum waste

**Оптические усилители EDFA & RAMAN следующего поколения. Улучшение оптического отношения с/ш**



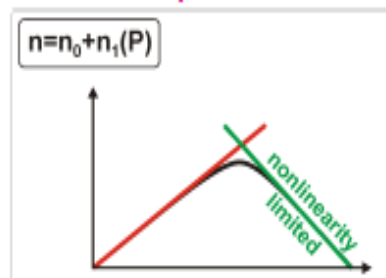
An optimization between Raman and EDFA's yields the ability to reclaim OSNR via less noise propagation

**Объединение нескольких оптических каналов в один суперканал для передачи терабитных потоков**



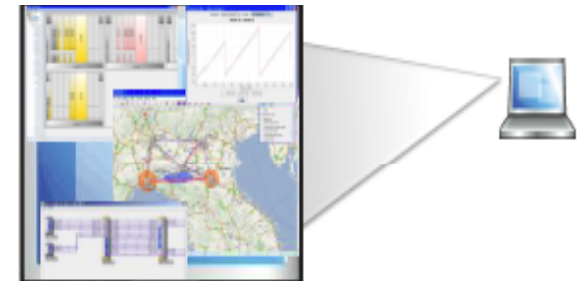
Enables efficient utilization of the overall Spectrum and Tb interface

**Возможность оптимизации уровня мощности по каждому оптическому каналу**



Enables the system to achieve the optimum between linear noise and non-linear distortion

**Сетевое планирование и система управления сетью. Автоматизация реконфигурации сети DWDN**



Simplified planning, design, installation and commissioning.

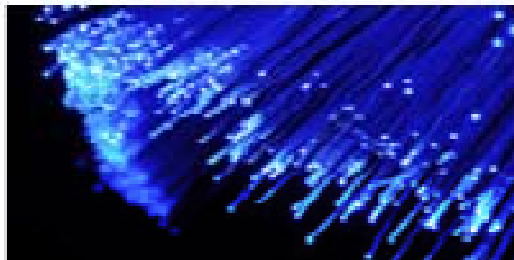
=> Fast network reconfigurations, service set up



# IEEE: сформирована группа по разработке стандарта 400GBE

## IEEE 400Gbit/s networking standard to combat internet bandwidth exhaustion

Posted by admin on Mar 9th, 2011 // No Comment



0

Tweet

f Share

The **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)** is working on a new 400Gbit/s global standard for internet network connectivity.

The new standard will lead to hardware that will enable network speed on a single connection four times faster than the 100Gbit/s offered by hardware now being trialled and deployed by carriers.

The IEEE 400Gbit/s standards body was formed late last year, and the new standard is not due for three to four years.

With increasing use of social networking sites, and explosion of mobile data traffic, carriers and other firms such as Facebook need this technology to manage network requests.

**Force10 Networks** chief executive Henry Wasik gave details of the new standard being overseen by the IEEE in an interview with Computing.

<http://www.computing.co.uk/ctg/news/2032466/ieee-400gbit-networking-standard-combat-internet-bandwidth-exhaustion>

AT  
THE  
SPEED  
OF  
IDEAS™