

**ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИ-  
ТЕРАБИТНЫХ  
ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ  
СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

Профессор В.Ю. Деарт

# Прогноз роста трафика

БЫСТРО МЕНЯЮЩИЕСЯ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ



Прогноз до 2017 года

- Корпоративные облака  
Outsourced IT
- Мобильная связь  
LTE /Wi-Fi
- Бизнес услуги
- Услуги частным пользователям  
Triple Play

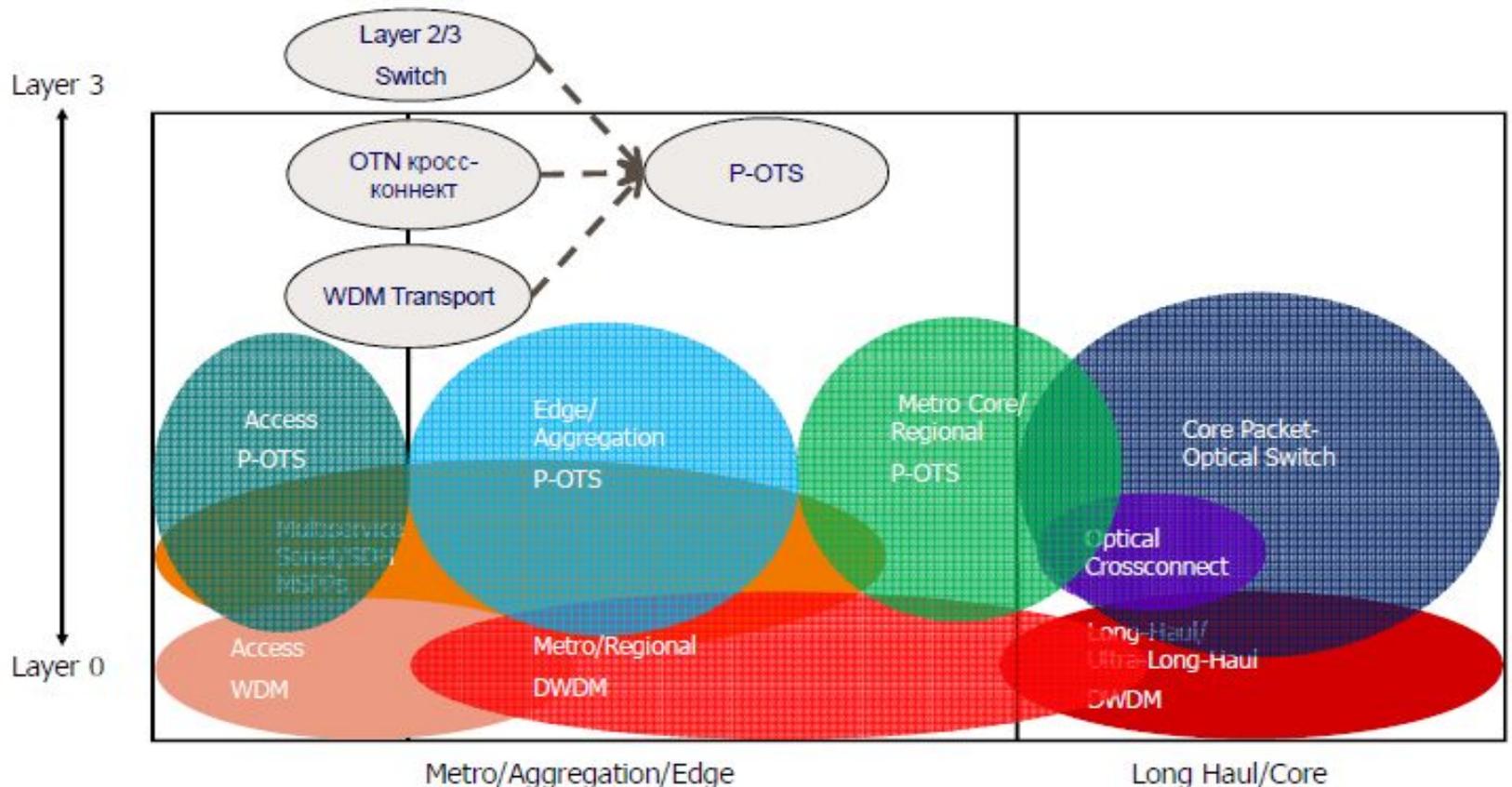
**550%**  
рост трафика услуг в облачных сетях

**720%**  
рост трафика услуг UNCAST VIDEO



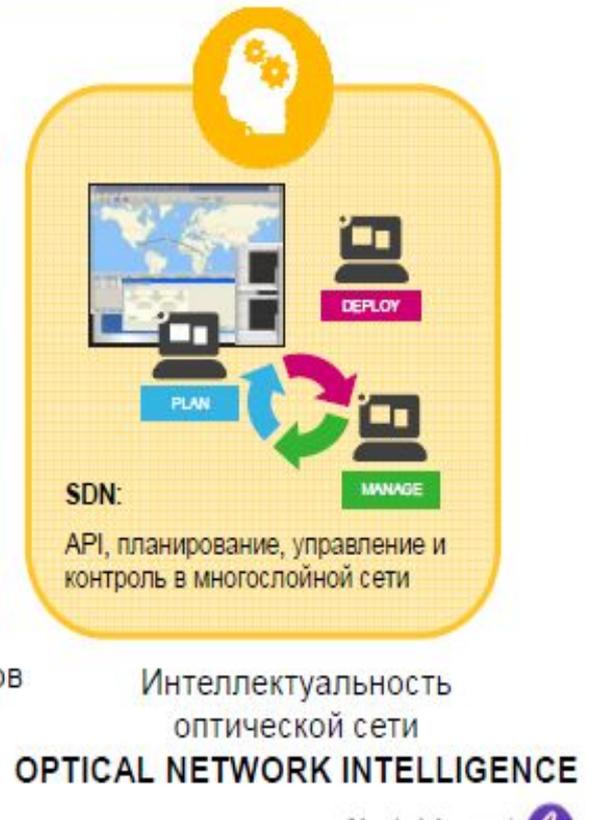
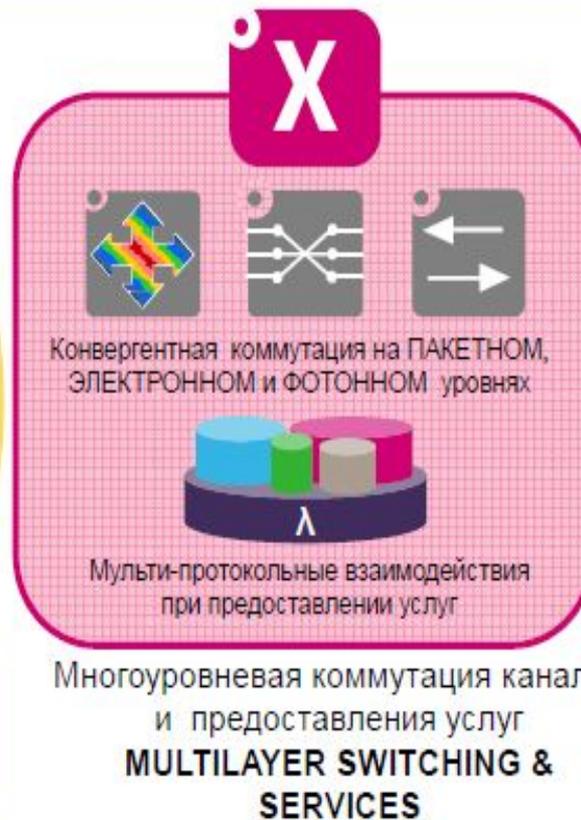
# Структура пакетно-оптических сетей

Пакетно-оптические транспортные системы (P-OTS)



# Интеграция IP сетей и Оптических сетей

IP/OPTICAL интеграция



# Пример линейки оборудования компании Алкатель-Лусент

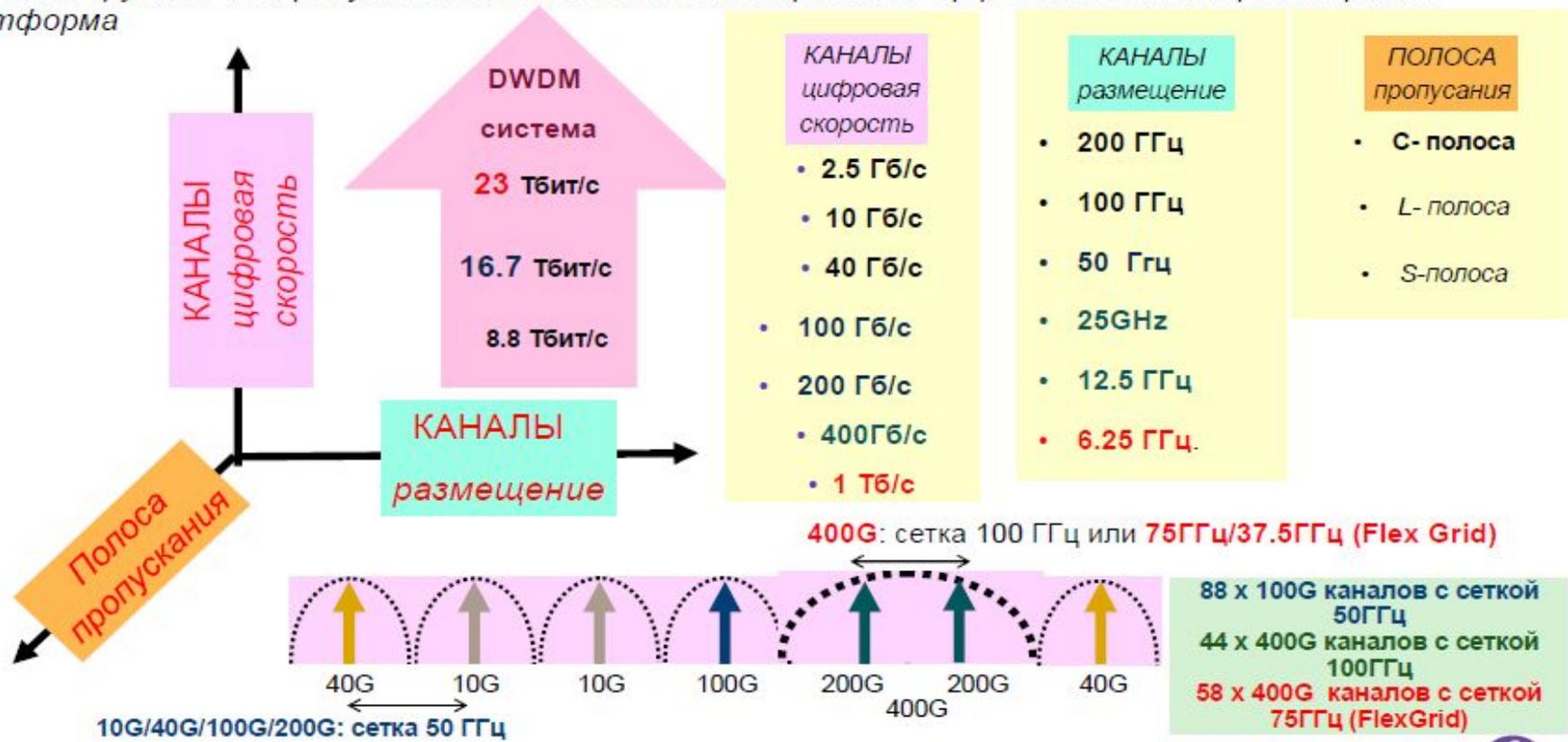
Многоцелевое оборудование C/DWDM для местных, зонавых и магистральных транспортных сетей



# Характеристики оборудования 1830 PSS

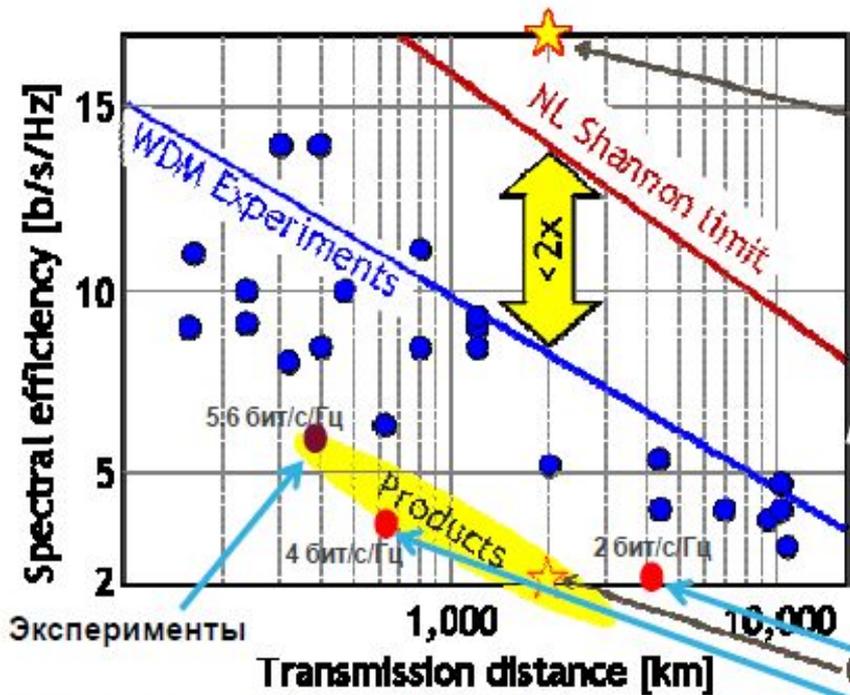
## ALCATEL-LUCENT 1830 PHOTONIC SERVICE SWITCH (PSS)

Масштабируемая по пропускной способности и спектральной эффективности транспортная платформа



# Ограничение эффективности из-за нелинейных эффектов

## ЭВОЛЮЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ



Потребности  
коммерческих  
систем WDM  
после 2016 года

Рост трафика  
порядка 60% в  
год

Выпускаемое  
в настоящее время  
оборудование  
WDM

Спектральная эффективность при  
использовании сетки 50ГГц

- 0.2 бит/с/Гц для 10G
- 0.8 бит/с/Гц для 40G
- 2 бит/с/Гц для 100G
- 4 бит/с/Гц для 200G

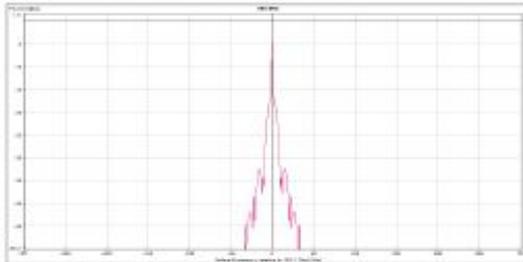
Спектральная эффективность при  
использовании FlexGrid 37.5 ГГц

- 5.3 бит/с/Гц для 400G Flex Grid
- 5.6 бит/с/Гц для 1T SuperChannel FlexGrid

# Методы модуляции для 100G

## ВЫБОР ФОРМАТА МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ КАНАЛОВ 100G

Переход от манипуляции интенсивностью к фазовой манипуляции нормированного оптического излучения (длины волны)

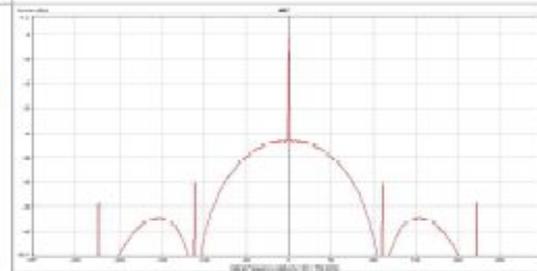


### 10G NRZ OOK.

Спектр совместим  
с сеткой частот 50 ГГц

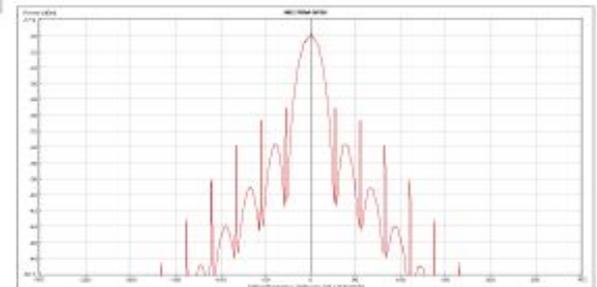
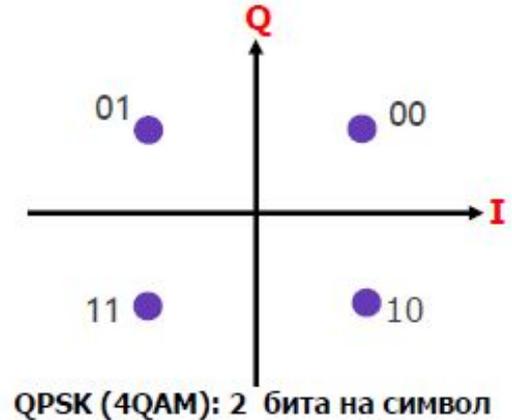
### 100G NRZ OOK

Спектр не совместим  
с сеткой частот 50 ГГц  
...а также имеет плохие  
характеристики по параметрам  
передачи



### 100G PDM-QPSK

За счет использования квадратурной фазовой манипуляции спектр сжимается.  
При условии использования обеих поляризаций спектр сигнала вписывается в сетку 50 ГГц и имеет отличные параметры передачи



# Технологии когерентного приема

Ключевая роль в достижении терабитных скоростей

## Технология

- Когерентная технология используется для эффективного детектирования амплитуды, фазы и поляризации принимаемого с линии сигнала путем сравнения его с сигналом, получаемым от местного источника нормированного излучения с той же длиной волны
- Цифровой сигнальный процессор (Digital Signal Processing, DSP) вычисляет величину компенсации линейных искажений, связанных с хроматической (CD) и поляризационной (PMD) дисперсиями
- Используется многоуровневый формат модуляции, что позволяет снизить скорость передачи символов (Бод)



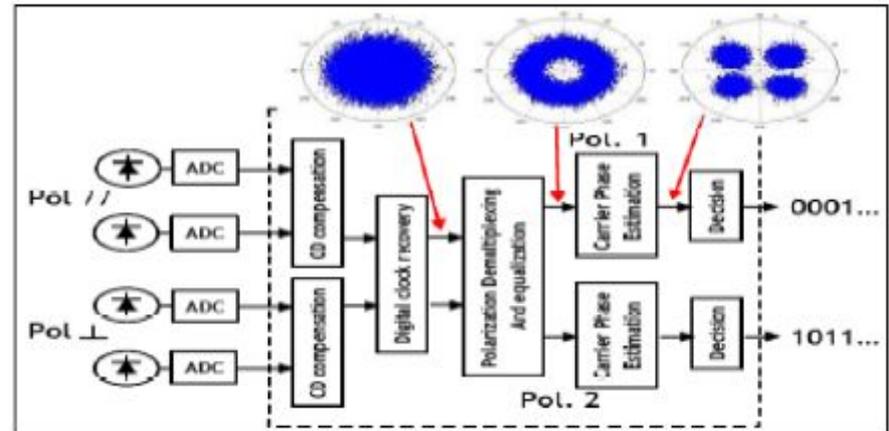
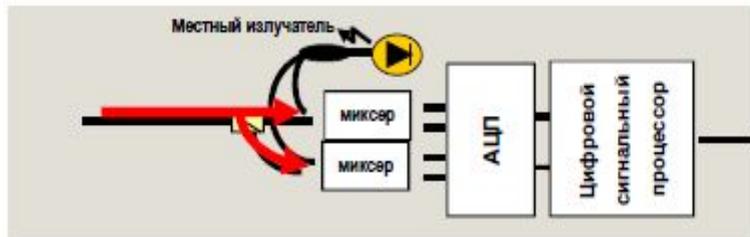
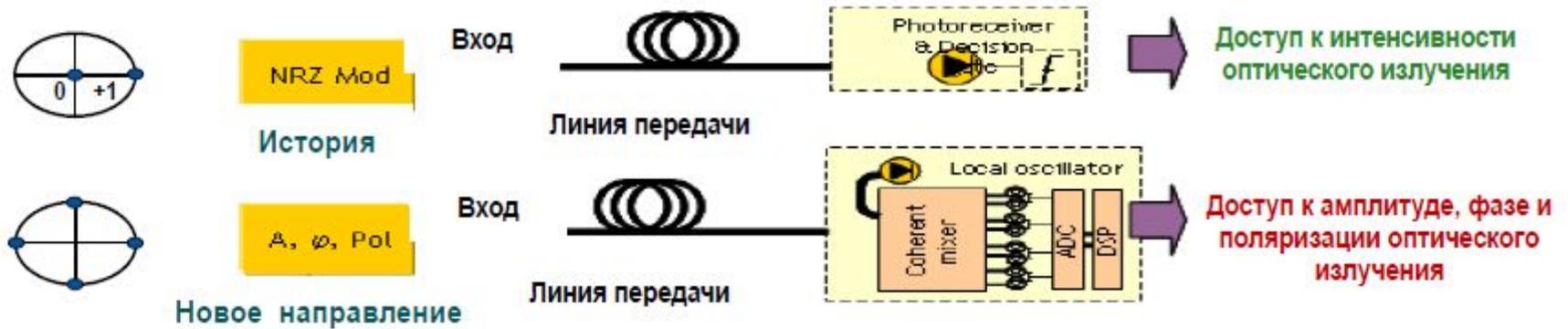
## Преимущества

Когерентное детектирование имеет ключевую роль для

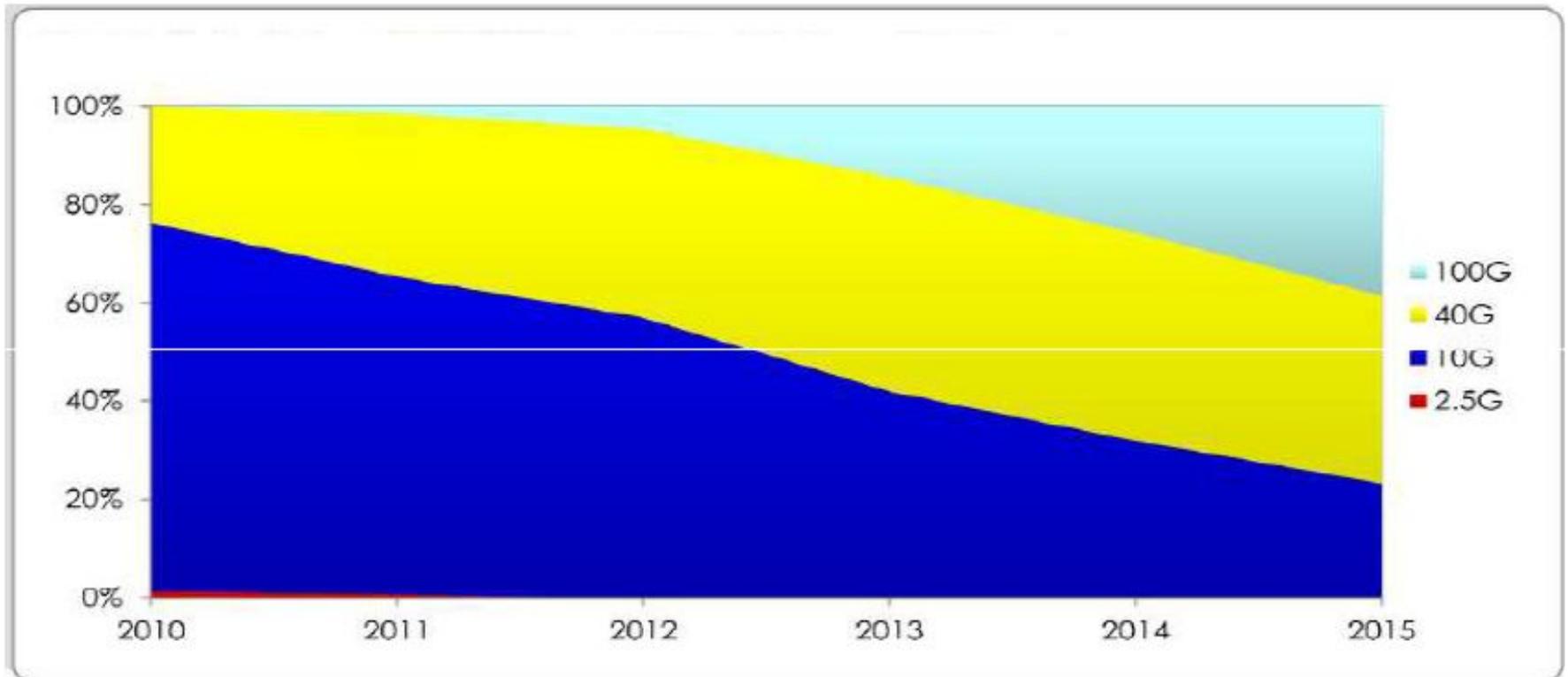
- увеличения скорости передачи при снижении ограничивающих факторов, связанных с CD и PMD
- повышения пропускной способности системы за счет увеличения спектральной эффективности

# Реализация когерентного приема

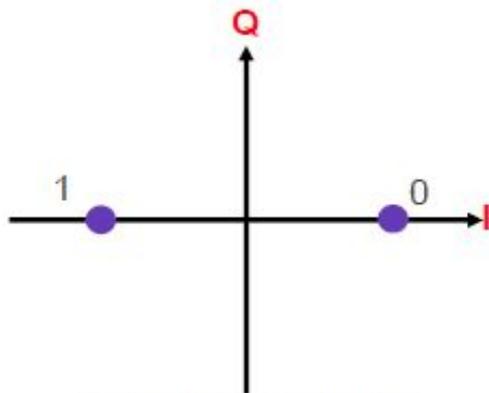
Формат модуляции PDM QPSK и когерентный приемник с цифровым сигнальным процессором



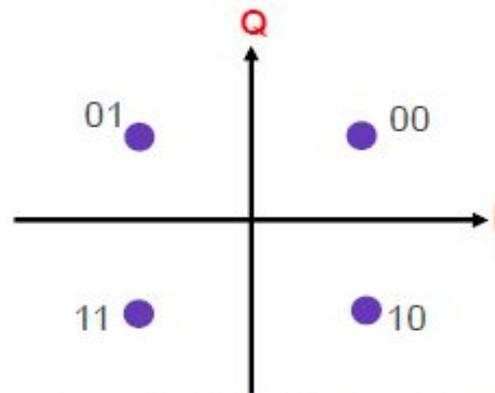
# ЭВОЛЮЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПО ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ



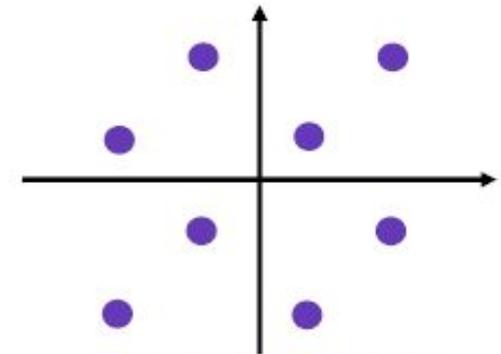
# Увеличение эффективности



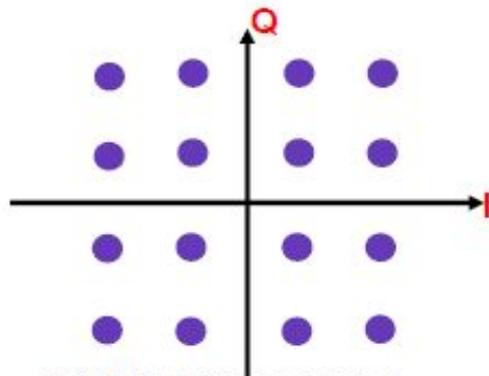
BPSK: 1 бит на символ



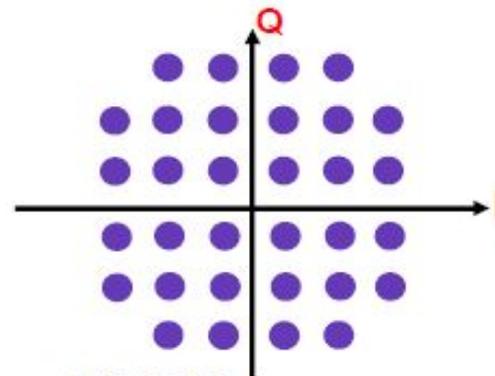
QPSK (4QAM): 2 бит на символ



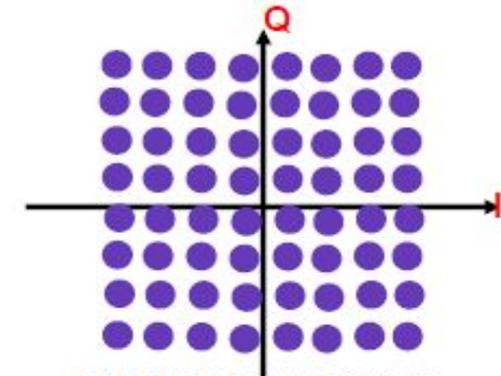
8QAM: 3 бит на символ



16QAM: 4 бит на символ



32QAM: 5 бит на символ



64 QAM: 6 бит на символ

# Передача на одной несущей с когерентным приемом 100G либо 2 x 100G

Передача на одной несущей с когерентным приемом 100G либо 2 x 100G

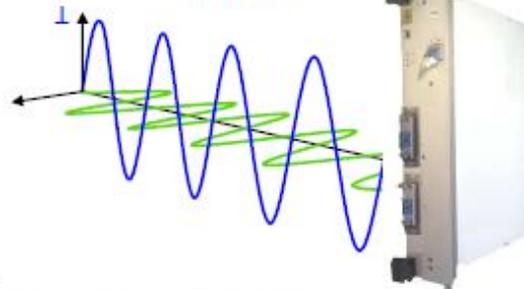


## ■ PDM-16QAM: 8 бит/символ

■ Модуляция высокого порядка увеличивает пропускную способность канала

■ Патентованные алгоритмы **Frequency Estimation** и интегрированные в СБИС "**SDFEC & cycle slip mitigation**", беспрецедентно высокие характеристики .

## Polarization Division Multiplexing (PDM)



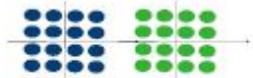
Оптическая несущая с двумя поляризациями (сетка частот 37.5 ГГц или 50 ГГц)

## ■ PDM-QPSK: 4 бит/символ

■ Символьная скорость 28 ГБод обеспечивает большую защиту от нелинейных эффектов, связанных с наличием соседних каналов 10G.

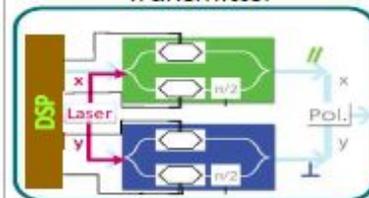
■ Одна несущая, высокоскоростные электрооптические решения, а также алгоритм цифровой обработки на приемной стороне обеспечивают лучшие в своем классе средства компенсации хроматических (CD) и поляризационных (PMD) дисперсионных искажений

## 16 Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)

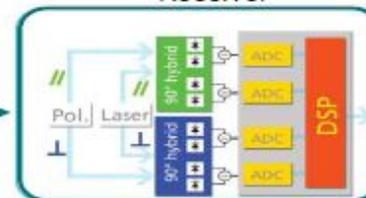


Each polarization carries 16 phase-states (4 bits)

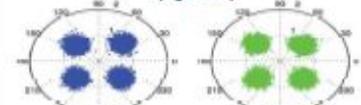
## 200G PDM-16QAM Transmitter



## Next-Generation Coherent Receiver

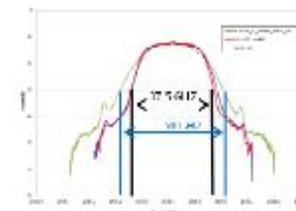
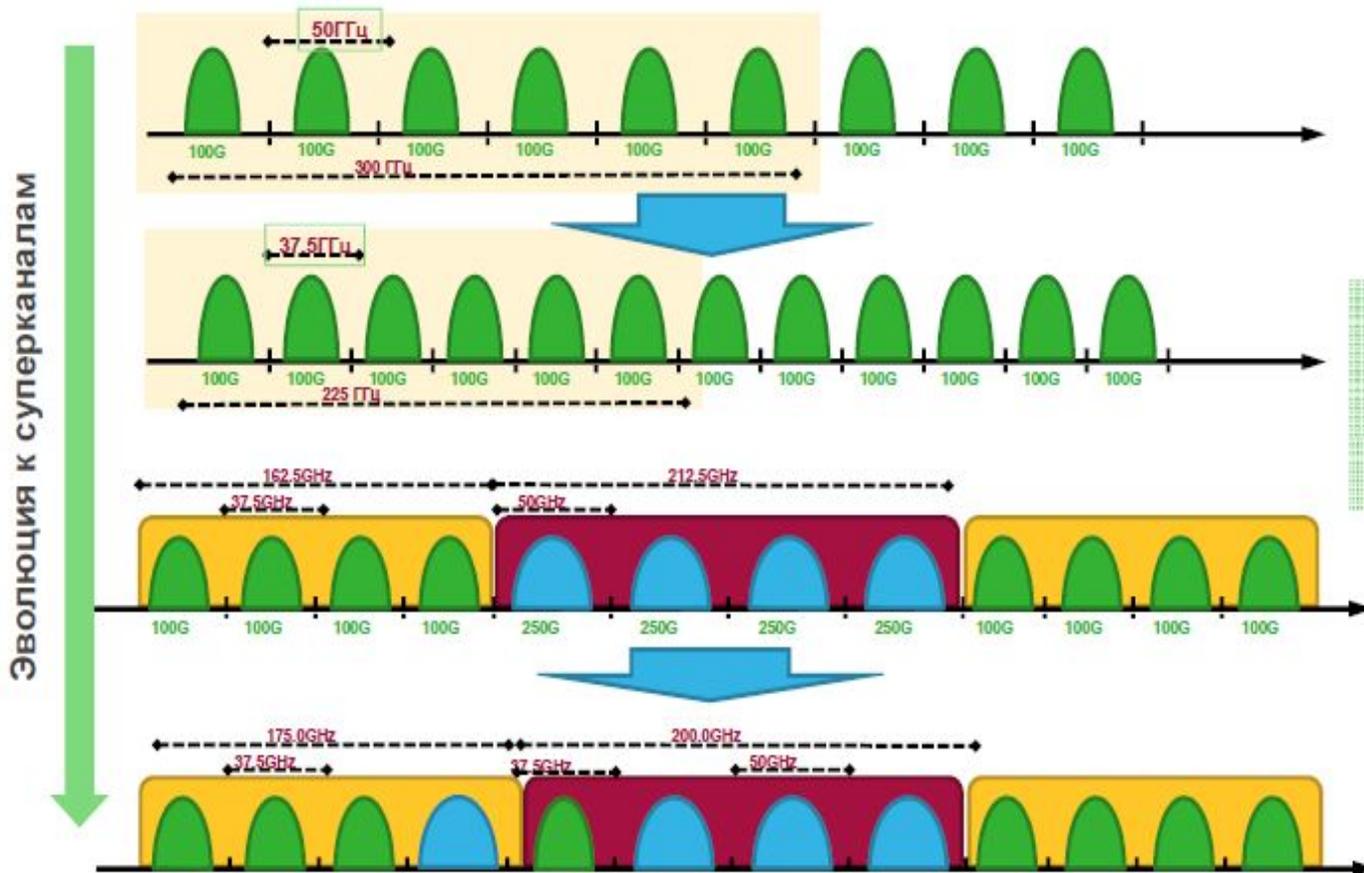


## Quaternary Phase Shift Keying (QPSK)



Each polarization carries 4 phase-states (2 bits)

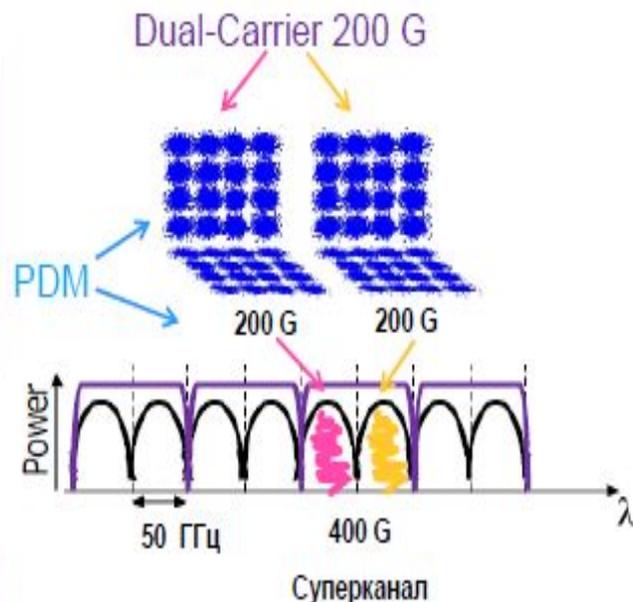
# Гибкая сетка частот – FlexGrid (ITU-T G.694.1)



СБИС PSE реализует адаптацию импульсов по форме (Pulse Shaping)  
За счет этого обеспечивается вписывание импульсов в более узкую полосу частот с размещением каналов в соответствии с более плотной сеткой частот

# Супер канал 400G

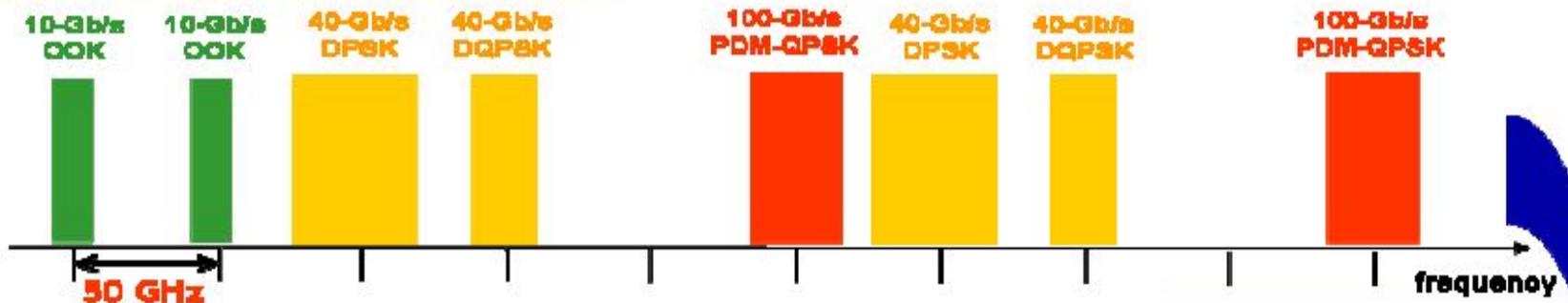
- Типичным примером суперканала является 400G, который на реальных сетях организуется с разделением на два потока по 200G и с использованием, соответственно, двух несущих с частотным интервалом 50ГГц,
- Каналы с высокой символьной скоростью (Baud Rates), например, 400G, не реализуемы на одной оптической несущей при использовании доступной в настоящее время технологии.



- Для суперканалов на всей протяженности маршрута соединения, включая оптические усилители, фильтры, **несколько несущих рассматривается как единая совокупность**: в этом случае потребуются совместимые с гибкой сеткой частот селективные переключатели по длинам волн оптического излучения (WSS)

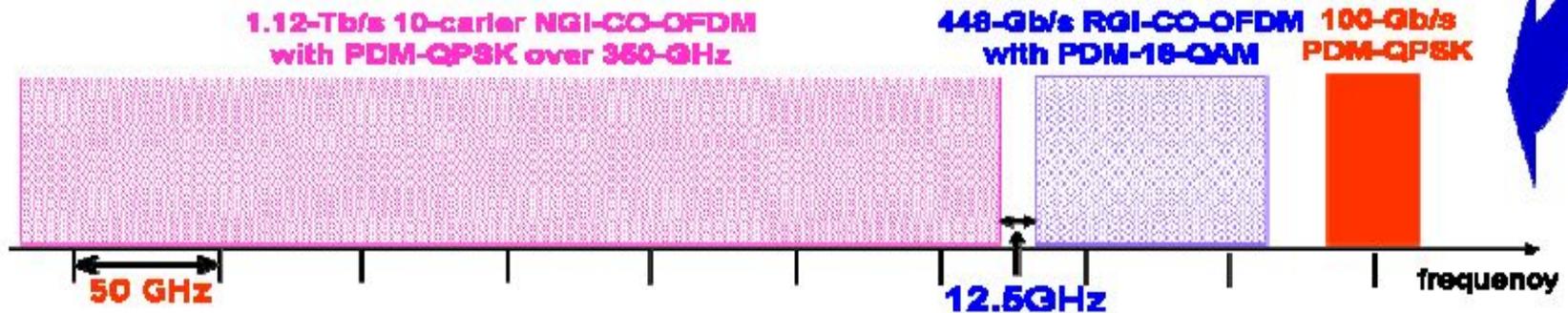
# Эволюция к системам с суперканалами и гибкой сеткой частот

А) Обычные DWDM системы



Reduced guard band:  
increase in capacity

Б) Системы DWDM с гибкой сеткой частот (FlexGrid) и суперканалами (SuperChannels)



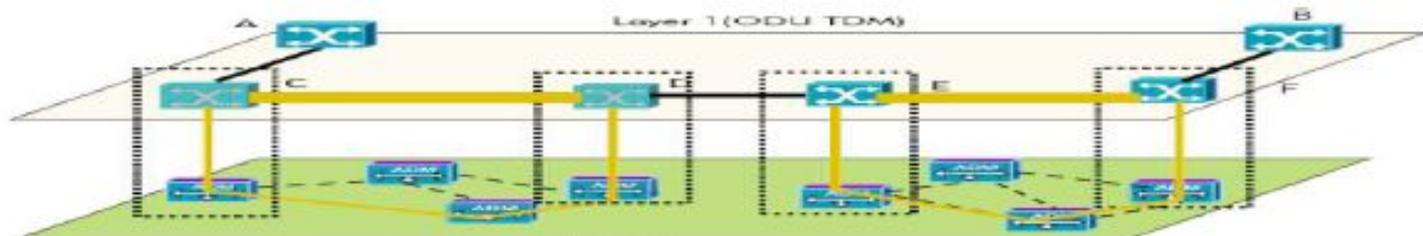
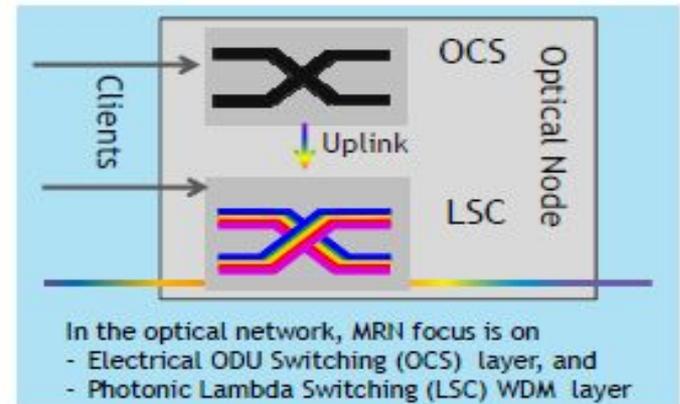
# Конвергентная сеть L0-L1

## MULTI-REGION NETWORK (MRN)

### WHAT MRN IS

MRN: traffic engineering domain supporting at least two different switching types, either hosted on same device or on different ones and under control of a single GMPLS control plane instance

- The single control plane instance is meant with respect to one common TE database. According to the IETF RFC 4206, in a GMPLS control plane, the representation of a switching technology domain is referred to as a region.
- Uplinks (direct colored lines from OCS) are managed by the WDM layer



# Этапы развития сетевой инфраструктуры: Packet – Optical Transport System (P-OTS)

