

РАЗВИТИЕ РОССИЙСКИХ DWDM-СИСТЕМ: 400G И «ДАЛЬНОБОЙНЫЕ» ЛИНИИ



А.В. ЛЕОНОВ,

к.ф.-м.н.,

Зам. начальника научно-исследовательского отдела ООО «Т8»



В.Н. ТРЕЩИКОВ,

к.ф.-м.н.,

Генеральный директор ООО «Т8»

Приведен обзор DWDM-решений 100G и 200/400G компании «Т8», их характеристик и вариантов применения при организации региональных и магистральных сетей связи и подключения дата-центров.

The article reviews DWDM systems 100G and 200/400G of the "T8" company, their characteristics and applications for building regional and backbone communication networks and data centers interconnect.

Вскоре после появления коммерческих систем 100G, мировыми производителями была анонсирована разработка следующего поколения оборудования – 400G. С тех пор прошло несколько лет, но до сих пор не существует коммерческих систем 400G на одной несущей (кроме системы Nokia малой дальности [1]). На рынке представлен ряд систем (Nokia/Alcatel, Huawei, Coriant, Ciena), которые используют передачу двух оптических поднесущих по 200 Гбит/с в каждой [2]. В маркетинговых целях, такие системы 2x200G называют системами 400G.

На крупнейшей мировой выставке в области волоконно-оптической связи OFC-2016 была дана оценка, что три крупнейших потребителя скоростных DWDM-систем - Facebook, Google, Amazon - будут до 2020 г. закупать DWDM-оборудование для организации каналов 200G на 500 млн. USD в год. Ведущие производители DSP-чипов для 200G-систем (Acacia, ClariPhy, NEL) вкладывают значительные средства в разработку DWDM-систем со скоростями передачи 200G, 400G и выше по одной несущей.

Увеличение спектральной эффективности (и соответственно скорости по одной несущей) в системах 200G, 400G и выше достигается, главным образом, за счёт перехода к более сложным форматам модуляции – DP-16QAM, DP-64QAM, что ведёт к сильному падению дальности передачи по сравнению с системами 100GDP-QPSK[3]. Максимальная производительность (произведение даль-

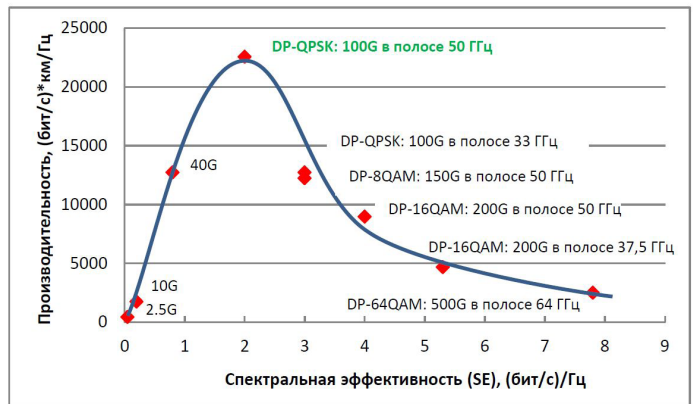


Рис. 1. Максимальная производительность магистральных волоконно-оптических систем связи была достигнута в системах 100G[3].

ности передачи на спектральную эффективность) была достигнута в системах 100G, рис. 1.

Таким образом, платой за дальнейший рост спектральной эффективности становится снижение дальности. Если типичная дальность работы коммерческих систем 100G без регенерации сигнала может достигать нескольких тысяч км, то системы «200G по одной несущей» рассчитаны в среднем на дальности в диапазоне 500-700 км, а дальность систем «400G по одной несущей» будет, вероятно, ещё в несколько раз меньше [1].

Системы 200G, 400G и выше предназначены, прежде всего, для развития городских и региональных сетей, при этом перспективным быстрорастущим рынком являются сети связи дата-центров[4]. Повышение спектральной эффективности с 2 бит/с/Гц (100G по одной несущей 50 ГГц) до 4 бит/с/Гц (200G по одной несущей 50 ГГц) позволяет передать в два раза больше информации по одному волокну.

Важнейшее требование к DWDM-оборудованию для дата-центров можно сформулировать так: передать максимальное количество каналов 100G Ethernet дешево и с помощью компактной системы. Более развернуто, в эти требования входят:

- минимальная цена в расчете на канал 100G;
- компактность: максимум клиентских каналов 100GbE в расчете на 1U в 19" стойке;

ДО СИХ ПОР НЕ СУЩЕСТВУЕТ КОММЕРЧЕСКИХ СИСТЕМ 400G НА ОДНОЙ НЕСУЩЕЙ

Ключевые слова: DWDM, 100G, 200/400G, спектральная эффективность

Keywords: DWDM, 100G, 200/400G, spectral efficiency

- энергоэффективность – для снижения затрат на охлаждение дата-центров;
- в перспективе – поддержка интерфейсов 400GigabitEthernet и 1 TerabitEthernet

Ведущий российский производитель скоростных DWDM-систем – компания «Т8», выпускает полный спектр оборудования, включая наиболее современные системы «200G по одной несущей» со спектральной эффективностью 4 бит/с/Гц[5]. Системы обладают высокой компактностью и низким энергопотреблением, отвечая ключевым потребностям операторов связи дата-центров. Агрегирующий транспондер MS-400E позволяет передать 4 канала 100GEthernet через 2 поднесущие 200G в формате DP-16QAM. Система поддерживает программную настройку скорости FlexRate, благодаря чему в случае длинных линий можно вместо 2x200G передавать 2 канала по 100G или 150G, с увеличением дальности передачи в 4-5 раз. Система поддерживает организацию суперканалов и методы повышения спектральной эффективности NyquistWDM.

1U-система «200G по одной несущей» поддерживает до 8 клиентских каналов 100G, рис. 2-3. Передача клиентского трафика 100G осуществляется в линейных каналах 200 Гбит/с в формате DP-16QAM.

ПЛАТОЙ ЗА ДАЛЬНЕЙШИЙ РОСТ
СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАНОВИТСЯ
СНИЖЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ



Рис. 2. Система «200G по одной несущей» производства «Т8» в формате платы для платформы «Волга». Ёмкость 400 Гбит/с.



Рис. 3. Система «200G по одной несущей» производства «Т8». Ёмкость 400 Гбит/с при глубине 300 мм (вверху) или 800 Гбит/с при глубине 600 мм (монтаж «спина к спине», внизу).

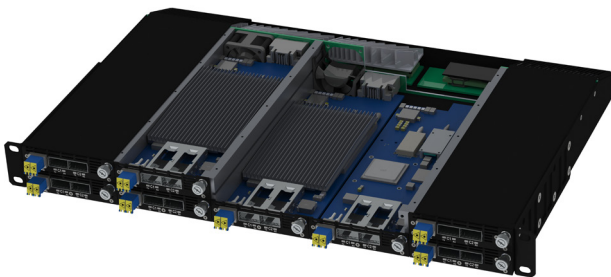


Рис. 4. Перспективная система 2 Тбит/с в 1U на базе модулей «200G по одной несущей».

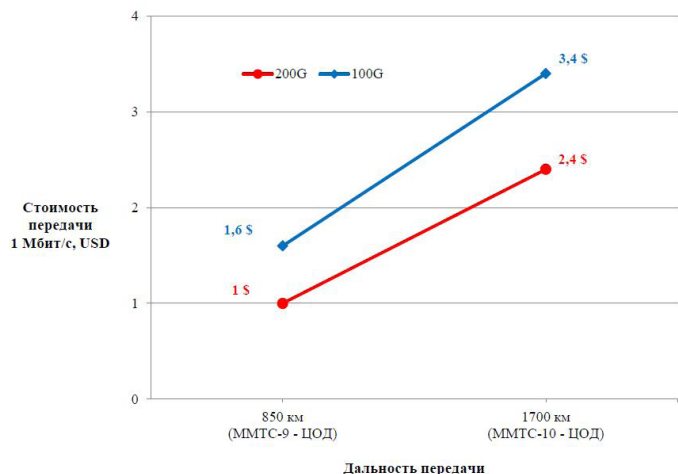


Рис. 5. Удельная стоимость передачи данных в системах 100/200G по одной несущей. Расчёт реальных проектов. Линия 850 км – без регенерации, линия 1700 км – одна регенерация для скорости 100G и две регенерации для скорости 200G.

В разработке находится система с полной емкостью 2 Тбит/с в 1U корпусе, которая будет поддерживать до 20 клиентских каналов 100G при тех же размерах, рис. 4.

Предлагаемые системы обеспечивают дальность передачи 500-700 км, что достаточно для большинства применений городского и регионального уровня, в т.ч. дата-центров. Безрегенерационная дальность передачи скоростных систем (200G, 400G и выше) может быть увеличена за счёт уменьшения расстояния между усилителями, или за счёт использования распределенного рамановского усиления.

ВАЖНЕЙШЕЕ ТРЕБОВАНИЕ К DWDM-ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ ДАТА-ЦЕНТРОВ: ПЕРЕДАТЬ МАКСИМАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО КАНАЛОВ 100G ETHERNET ДЕШЕВО И С ПОМОЩЬЮ КОМПАКТНОЙ СИСТЕМЫ

Принято считать, что использование систем 200G / 400G дороже, чем существующих систем 100G, поскольку для них требуется большее количество пунктов регенерации сигнала. Расчёт реальных проектов показывает, что это не так. Например, на рис. 5 представлены результаты расчета проектов длиной 850 и 1700 км при использовании оборудования «Т8» в текущих ценах. Видно, что переход от системы «100G по одной несущей 50 ГГц» к системе «200G по одной несущей 50 ГГц» позволяет снизить удельную стоимость передачи данных в 1,5-2 раза. Причём при росте дальности линии выгода перехода на 200G сохраняется, несмотря на большее количество пунктов регенерации.

Переход к системам 2x200G позволяет снизить стоимость передачи 1 Мбит/с информации до 1\$ для безрегенерационных линий, рис. 5. Стоимость дооборудования снижается ещё сильнее – до 0,3\$ за 1 Мбит/с (расчет для добавления 4 каналов 100G)[4].

Выгоду от перехода к системам 400G от 100G можно выразить простым правилом «2x2 = 4», что означает: в системах 400G в два



Рис. 5. Схема рекордной линии Москва-Новосибирск без регенерации сигнала (2015).

раза выше спектральная эффективность или полная емкость, и в два раза ниже цена за 1 Мбит/с, но при этом в 4 раза меньше дальность передачи.

РЕКОРДНЫЕ РЕАЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Построение линий большой дальности – актуальная задача для России. Для этих задач хорошо подходят магистральные системы 100G, которые обладают максимальной производительностью.

Когерентный транспондер 100 Гбит/с компании «Т8» показывает лучшие в мире оптические характеристики. В лучших образцах OSNRt (чувствительность по OSNR) не превышает 11 дБ, что позволило установить ряд мировых рекордов в области 100G [6-8].

В апреле 2015 года компания «Т8» запустила на собственном DWDM-оборудовании «Волга» 100G канал Москва–Новосибирск без регенерации сигнала и без компенсаторов дисперсии по всей длине трассы, рис. 5. Каналы 100G переданы двумя путями – через Самару и через Екатеринбург – с резервированием 1+1. Длина двух плеч составляет, соответственно, 4250 и 3400 км. Оборудование 100G «Волга» отлично проявило себя в сложной конфигурации, обеспечив при этом значительный запас по отношению сигнал-шум (OSNR). По плечу через Самару, запас по OSNR составляет 7 дБ, по плечу через Екатеринбург – 8,5 дБ. Это более чем в два раза превышает требуемый эксплуатационный запас.

В новейших системах 400G реализована технология FlexRate, когда для длинной линии можно программно переключить сигнал 400G (2x200G в формате DP-16QAM) на сигнал 200G (2x100G в формате DP-QPSK). При этом параметр OSNRt=10,1 дБ, что на 1 дБ лучше, чем в применяемых для линии Москва-Новосибирск транспондерах 100G.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ближайшее время возможна очередная «перезагрузка» оптических сетей городского и регионального масштаба, т.е. масштабная модернизация их инфраструктуры и смена транспортной технологии. Компания «Т8» оперативно отвечает на потребности

заказчиков, предлагая оборудование 400G мирового класса, соответствующее мировым тенденциями развития DWDM-систем, а также «дальнобойные» 100G-системы.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Nokia claims capacity leap from new silicon and systems // Fibre Systems. 17.03.2016. Режим доступа: <http://www.fibre-systems.com/news/story/nokia-claims-capacity-leap-new-silicon-and-systems>

[2]. Леонов А.В., Слепцов М.А., Трещиков В.Н. Развитие скоростных DWDM-систем по нескольким поднесущим // Первая Миля, 2016, №2.С. 42-49.

[3]. Кобышев В.А., Леонов А.В., Наний О.Е., Трещиков В.Н., Убайдуллаев Р.Р. Рекордная производительность систем 100G как маркер перехода к эволюционному разви-

тию волоконно-оптических систем связи // Первая Миля, 2015, №6, с. 40-43.

[4]. Леонов А. В., Слепцов М. А., Трещиков В. Н. Системы 200G и 400G для дата-центров // Технологии и средства связи. 2016. № 2. С. 32-37.

[5]. Леонов А. В., Слепцов М. А., Трещиков В. Н. Скоростные 400G-системы // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Спецвыпуск № 1. С. 30-31.

[6]. Gainov V V, Gurkin N V, Lukinich S N, Akopov S G, Makovejs S, Ten S Y, Nanii O E and Treshchikov V N. Record 500 km unrepeated 100 Gb s-1 transmission // Laser Physics Letters 10 (2013), 075107 (4pp).

[7]. Gainov V, Gurkin N V, Lukinich S N, Makovejs S, Akopov S G, Ten S Y, Nanii O E, Treshchikov V and Sleptsov M. Record 500 km unrepeated 1 Tbit/s (10x100G) transmission over an ultra-low loss fiber // Optics Express. 22 (2014), 22308-22313.

[8]. Гайнов В.В., Слепцов М.Н., Трещиков В.Н. Однопролётные ВОЛС большой протяжённости: как снизить стоимость транспортных сетей // Первая миля. 2015. № 2. С. 72-77.

СИСТЕМЫ 200G, 400G И ВЫШЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ, ПРЕЖДЕ ВСЕГО, ДЛЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ... ПЕРСПЕКТИВНЫМ БЫСТРОРАСТУЩИМ РЫНКОМ ЯВЛЯЮТСЯ СЕТИ СВЯЗИ ДАТА-ЦЕНТРОВ

КОГЕРЕНТНЫЙ ТРАНСПОНДЕР 100 Гбит/с КОМПАНИИ «Т8» ПОКАЗЫВАЕТ ЛУЧШИЕ В МИРЕ ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ