

## ОБОРУДОВАНИЕ 200G В РЕГИОНАЛЬНЫХ И МАГИСТРАЛЬНЫХ ВОЛС: компромисс цены и дальности передачи

**Я.Тезадов**, руководитель проектов ООО "НТО ИРЭ-Полюс" / ytezadov@ntoire-polus.ru,  
**С.Отрадно**, заместитель начальника группы ИТС ООО "НТО ИРЭ-Полюс",  
**Е.Голубятников**, руководитель проектов ООО "НТО ИРЭ-Полюс",  
**А.Мандрик**, заместитель начальника отдела разработки телекоммуникационного оборудования ООО "НТО ИРЭ-Полюс",  
**Н.Коротков**, инженер по применению оптических волокон ООО "Корнинг СНГ"

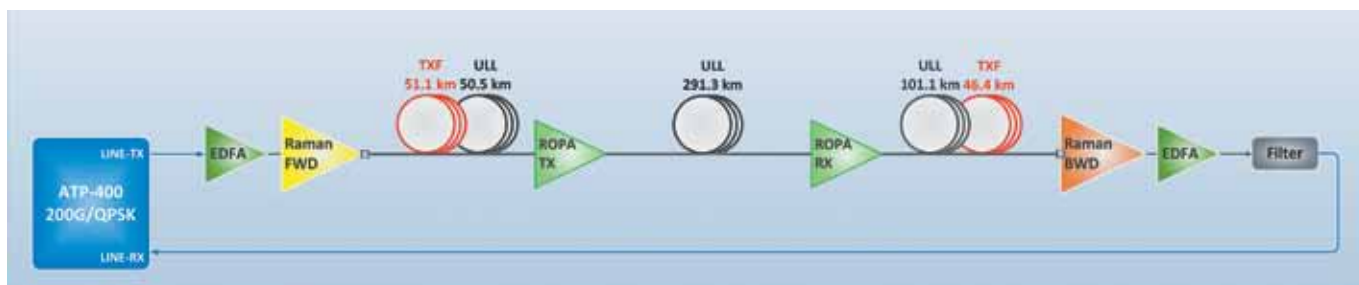
УДК 681.7.06; DOI: 10.22184/2070-8963.2019.80.3.66.68

В лаборатории компании ООО "НТО ИРЭ-Полюс" успешно проведен эксперимент по однопролетной передаче сигнала с канальной скоростью 200 Гбит/с на расстояние, превышающее 540 км. Показано, что современное оборудование уровня 200G имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с оборудованием 100G/QPSK, что делает его использование привлекательным в ВОЛС регионального и магистрального уровней.

В эпоху бурного развития телекоммуникационной отрасли рост потребляемого трафика ограничивается возможностями представленного на рынке телекоммуникационного оборудования. На первый план выходит задача по оптимизации производительности сети программными средствами с учетом данных о временных (суточных, сезонных) колебаниях потребления трафика с привязкой к локации. Например, с использованием технологии программно-определяемых сетей SDN вкупе с низкой стоимостью передачи единицы информации стал возможным процесс постоянного перераспределения данных между крупными дата-центрами, находящимися в различных регионах и на различных континентах. Все это способствует разработкам высокоскоростного приемо-передающего DWDM-оборудования класса 200G и выше с использованием когерентных технологий.

Несмотря на то, что приемопередатчики с битовой скоростью 100 Гбит/с и с квадратурной фазовой модуляцией QPSK имеют максимальную величину произведения спектральной эффективности на дальность передачи (производительность ВОЛС), их использование видится все менее актуальным в связи с относительно малой спектральной эффективностью и относительно высокой ценой.

Переход производителей DSP-процессоров на технологический процесс "16nm" позволил сделать в форм-факторе CFP2 когерентные модули класса 200G с символьной скоростью 41,8 ГБод. Если сравнивать с оборудованием класса 100G/QPSK, то такой подход позволяет увеличить спектральную эффективность в два раза при использовании в сетях с сеткой частот с шагом 50 ГГц. При этом цена такого решения более чем в два раза ниже.



**Рис.1.** Однопролетная передача сигнала 200G/QPSK на 540 км

С увеличением символьной скорости до 56,8 ГБод стало возможным создание оборудования класса 200G/QPSK с улучшенными шумовыми характеристиками: параметр  $OSNR_T$  (минимальное отношение сигнал-шум по приему) был улучшен до величины 14,5 дБ, уступая теперь лишь 3–4 дБ лучшим транспондерам класса 100G/QPSK. Такое решение позволяет снизить удельную стоимость трафика в два раза.

Оба решения имеются в арсенале платформы IPG-Horizon производства компании ООО "НТО ИРЭ-Полюс":

- OTN-мультиплексор ввода-вывода ADM200 с возможностью установки модулей DCFP2 для передачи на одной несущей сигнала 200G – для сетей протяженностью до 2500 км;
- агрегирующий транспондер ATP400, поддерживающий передачу сигнала со скоростью до 400 Гбит/с на одной несущей. Максимальная протяженность безрегенерационного участка для данного модуля в режиме 200G превышает 5000 км.

Совместное использование указанных выше приборов позволяет построить современную высокоемкую сеть любой топологии регионального и магистрального применения с канальной скоростью передачи до 400 Гбит/с.

Для анализа возможности применения транспондеров уровня 200G в региональных

ВОЛС в лаборатории компании ООО "НТО ИРЭ-Полюс" были проведены рекордные эксперименты по однопролетной передаче оптического сигнала с использованием оборудования 200G: ADM200 и ATP400 (рис.1 и 2).

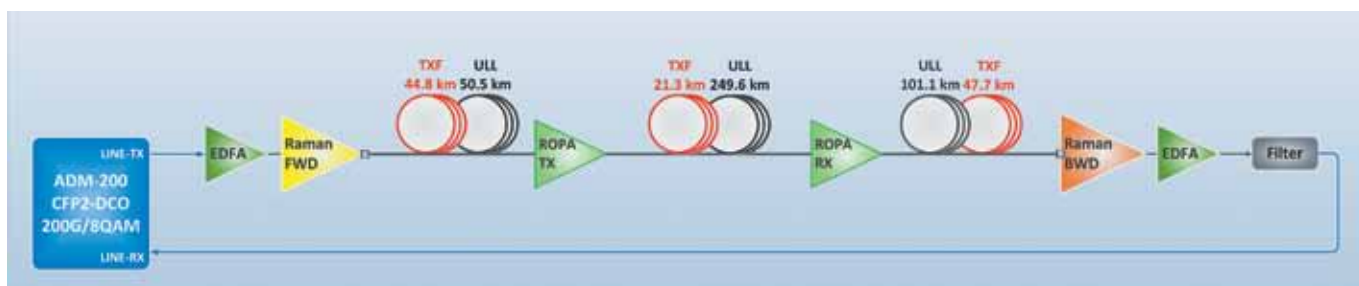
Ранее специалистами компаний ООО "НТО ИРЭ-Полюс" и ООО "Корнинг СНГ" были представлены рекордные результаты по однопролетной наземной передаче сигнала уровня 100G на расстояние 580 км с максимальным перекрываемым затуханием в линии ~95 дБ [1, 2, 3]. Сравнительные результаты представлены ниже в табл.1.

В данном эксперименте максимальной дальности передачи удалось достичь за счет использования:

- транспондеров производства компании ООО "НТО ИРЭ-Полюс" с технологией блочных кодов-произведения TPC с избыточностью Soft-FEC 25% (max PreFEC BER:  $3,4 \cdot 10^{-2}$ );
- комбинации двух типов волокон: Corning® SMF-28® ULL (G.652.B, G.654.C) и Corning® TXF™ (G.654.E) [4];
- уникальной многоуровневой рамановской накачки и усилителей с удаленной накачкой собственного производства с улучшенными характеристиками.

Использование комбинации двух типов ОВ Corning позволило улучшить производительность системы:

- волокно Corning TXF увеличивает верхний порог вводимой мощности сигнала и рамановской



**Рис.2.** Однопролетная передача сигнала 200G/8QAM с использованием модуля CFP2-DCO на 515 км

**Таблица 1. Сравнительные характеристики модулей уровня 100G и 200G компании ООО "НТО ИРЭ-Полюс"**

Тип сигнала	Максимальное расстояние однопролетной передачи, км	Максимальное расстояние многопролетной передачи, км	Эфф. полоса канала, -10 дБ, ГГц	Цена в переводе на стоимость 100G канала
100G/QPSK	580	Свыше 12000	33	Равно
200G/QPSK	540	Свыше 5000	67	В 2 раза меньше
200G/8QAM	515	До 2500	<50	Более чем в 2 раза меньше

накачки на ~2 дБ по сравнению со стандартным волокном G.652;

- волокно Corning SMF-28 ULL имеет наименьшее среднее значение коэффициента затухания (~0,163 дБ/км) среди волокон для наземного применения.

Отличительной особенностью данного эксперимента является то, что накачка усилителей типа ROPA проводилась по сигнальному волокну без использования дополнительных волокон. Использование дополнительных волокон [6] позволит увеличить перекрываемое затухание более чем на 4 дБ. Протяженность однопролетной передачи 200G в этом случае составит более 565 км. На данный момент авторам не известны данные по однопролетной передаче 200G по двум волокнам, превосходящие полученный результат.

Однопролетные эксперименты не дают в полной мере оценки такого параметра, как диапазон электронной компенсации дисперсии для определения максимальной длины безрегенерационного участка. С этой целью был задействован уникальный стенд [5] – макет многопролетной ВОЛС с использованием волокна G.652.D Corning® SMF-28® Ultra с общей протяженностью безрегенерационного участка свыше 6000 км и скоростью передачи данных 8 Тбит/с, расположенный в демо-зале компании ООО "НТО ИРЭ-Полюс". Один из каналов в стенде был заменен на тестируемый транспондер 200G. Параллельно было исследовано межканальное влияние сигналов 200G и 100G. Полученные результаты сведены в табл.1.

Таким образом, для региональных и части магистральных проектов представленные эксперименты доказывают возможность применения формата 200G в кабельной инфраструктуре, построенной для работы с оборудованием уровня 100G. Каждый из рассмотренных передатчиков (интерфейсов) имеет свои плюсы:

- передатчик на базе модуля DCFP2 на сегодняшний день является самым компактным и экономичным решением для применения в ВОЛС регионального уровня, а также в магистральных сетях протяженностью до 2500 км. Наиболее эффективно

расходуется спектральная полоса при условии использования в линиях фиксированной частотной сетки МСЭ с интервалом 50 ГГц;

- использование транспондера 200G/QPSK может быть целесообразно в линиях протяженностью до 5000 км. Здесь также стоит отметить вдвое меньшую цену передачи бита информации в сравнении с решениями на базе штатных транспондеров 100G;
- в случае сверхдлинных магистральных линий (свыше 6000 км) на данный момент альтернативы 100G/QPSK пока нет.

Использование транспондеров >200G с более высокими форматами модуляции, например 400G/16QAM, сопровождается резким сокращением дальности передачи, что сужает их круг применения до Metro-сетей.

Все это дает нам право говорить, что современное оборудование уровня 200G может использоваться в магистральных линиях передачи без существенного уменьшения производительности ВОЛС по сравнению с "золотым стандартом" 100G/QPSK, позволяя более чем в два раза снизить стоимость трафика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анпилов С.А., Голубятников Е.С., Тезадов Я.А. ВКР-технологии в телекоммуникациях. Прихоть или необходимость? // ФОТОН-ЭКСПРЕСС. 2018. № 3. С. 14-17.
2. Тезадов Я.А., Мусин Р.Х., ВКР-технологии в телекоммуникациях. Прихоть или необходимость? // Transport Networks Russia Conference, 2018.
3. Тезадов Я.А., Голубятников Е.С., Коротков Н.М., Анпилов С.А. Альянс лидеров // ФОТОН-ЭКСПРЕСС. 2018. № 4.
4. Corning TXF Optical Fiber Featuring Ultra-Low-Loss and Large Effective Area for Extended Reach, WP 8105, January 2017.
5. Тезадов Я., Голубятников Е., Отрадно С. 8 Тбит/с на рекордные 6000 км // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2018. № 7.
6. Попов С. Рекорд российских разработчиков оборудования DWDM // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2019. № 1. С. 42.