

# Российское DWDM оборудование с канальной скоростью 100 Гбит/с

Российская компания Т8 разработала первый в России 100 Гбит/с транспондер "Волга" с лучшими в мире параметрами качества сигнала (требуемый OSNR 12,5 дБ) и рекордно большим значением электронной компенсации дисперсии (75000 пс/нм). Высокое качество оборудования подтверждено успешной передачей 100 Гбит/с на 4000км без компенсации дисперсии в 80 канальной DWDM системе. Продемонстрирована возможность работы 100 Гбит/с транспондеров "Волга" в гетерогенных DWDM сетях совместно с каналами 40 и 10 Гбит/с. Создание Российского оборудования с лучшими в мире параметрами качества сигнала (требуемый OSNR) и конкурентными ценами открывает широкие возможности для освоения скорости 100 Гбит/с российскими операторами связи.

**Гуркин Н.В.,**  
инженер ООО "Т8", к.т.н.

**Трещиков В.Н.,**  
генеральный директор ООО "Т8", к.ф.-м.н.

**Новиков А.Г.,**  
инженер ООО "Т8", к.т.н.

**Наний О.Е.,**  
начальник отдела ООО "Т8", профессор  
МГУ имени М.В.Ломоносова, д.ф.-м.н.

## Введение

Продолжающийся рост потребности современного общества в скорости и объеме передаваемой информации ставит перед операторами связи всех уровней задачу увеличения пропускной способности их опорных DWDM-систем связи.

В течение последних нескольких лет началось крупномасштабное внедрение коммерческих многоканальных DWDM-систем передачи информации с канальной скоростью 40 Гбит/с. Компания Т8 — единственная российская компания, выпускающая транспондеры 40 Гбит/с. По важнейшим техническим характеристикам транспондеры компании Т8 не только не уступают, но и превосходят зарубежные аналоги [1-4]. В конкурсе, проводимом Лазерной Ассоциацией, агрегирующий транспондер АТР-40G компании "Т8" признан лучшей разработкой 2011 года в области связи. Хотя максимальная емкость DWDM систем связи на основе агрегирующих транспондеров АТР-40G превышает 3,2Тбит/с в ближайшее время в России для опорных сетей дальней связи этого может оказаться не достаточно. Следующий шаг — освоение канальной скорости 100 Гбит/с. Максимальная емкость 80 канальной DWDM системы составляет 8 Тбит/с. Уже сегодня системы такого класса широко востребованы ОАО "Ростелеком" и другими крупными операторами.

В настоящей работе приведена методика и результаты тестирования первых образцов российского DWDM-оборудования передачи информации с канальной скоростью 100 Гбит/с — агрегирующих 100 Гбит/с транспондеров "Волга" компании Т8.

В результате проведенных экспериментов установлено, что транспондер "Волга" имеет лучшие параметры качества сигнала в мире: требуемый OSNR = 12,5 дБ! Встроенная электронная компенсация дисперсии до 75000 пс/нм обеспечила передачу 100 Гбит/с сигнала на расстояние 4 тыс.км без использования оптической компенсации дисперсии. Экспериментально показана одновременная передача каналов 100 и 40 Гбит/с через сетку 50 ГГц, что позволяет делать сети со смешанными типами трафика. Транспондеры "Волга" компании Т8 позволяют создавать DWDM сети со сверхбольшими пролетами, что доказали эксперименты по передаче 100 Гбит/с на 400 км без промежуточных усилителей, с использованием ROPA.

Таким образом, техническое переоснащение отрасли связи, связанное с переходом на канальные скорости передачи информации 100 Гбит/с может быть осуществлено с использованием оборудования российского производства.

## Принцип работы агрегирующего транспондера АТР-100-10 "Волга"

Агрегирующий транспондер (Мультиплексер) АТР-100-10 "Волга" объединяет 10 клиентских сигналов 10 Гбит/с и передает их в одном DWDM канале. АТР-100-10 выполняет 3R-регенерацию и преобразует данные в формат OTN OTU4. Передача данных осуществляется на стабилизированной длине волны в соответствии с частотной сеткой DWDM. Перестраиваемый по длине волны лазер позволяет организовывать в С-диапазоне до 88 DWDM каналов с шагом 50 ГГц. На приемной стороне производится когерентное детектирование сигнала.

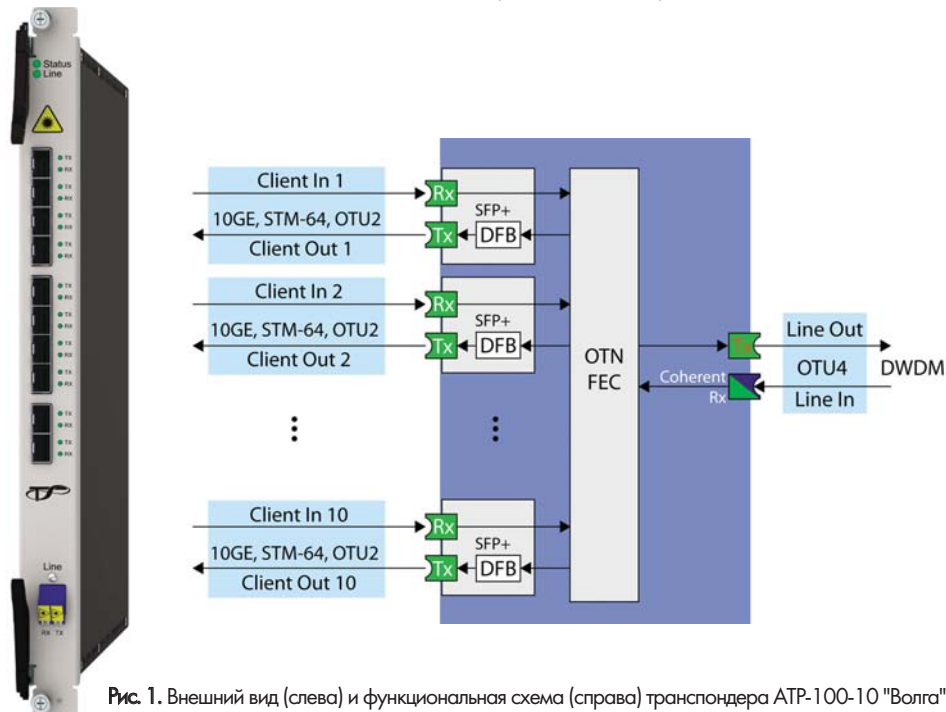


Рис. 1. Внешний вид (слева) и функциональная схема (справа) транспондера АТР-100-10 "Волга"

В транспондере "Волга" используются самые современные технологии: формат модуляции 100G DP-QPSK, мощный алгоритм коррекции ошибок Super-FEC G.975 I.7., поляризационное мультиплексирование сигнала, цифровая обработка сигнала для автоматической электронной коррекции дисперсии до 75 000 пс/нм.

Фотография транспондера приведена на рис.1 слева, а его функциональная схема на рис.1 справа. Оптические характеристики транспондера "Волна" приведены в таблице.

Важнейшей характеристикой транспондеров, используемых в оптических системах дальней связи, является величина требуемого отношения сигнал/шум  $osnr_R^{min}$ . По определению  $osnr_R^{min}$  — это минимальное значение OSNR на входе оптического приемника в отсутствие линейных и нелинейных искажений в оптическом тракте ВОЛС, при котором система связи работает в условно безошибочном режиме. Условно безошибочным называется такой режим работы системы связи, когда коэффициент ошибок BER не превышает заданного уровня. В современных системах связи он соответствует  $BER \leq 10^{-12}$ . Величина  $osnr_R^{min}$  измеряется при оптимальном значении мощности сигнала на входе приемника. Результаты измерения зависимости  $osnr_R^{min}$  от мощности сигнала, подаваемого на фотоприемник, приведены на рис. 2. Как видно из приведенного графика, минимальное значение требуемого отношения сигнал/шум  $osnr_R^{min}$ , отнесенное к полосе равно 12,4 дБ.

Достигнутое значение требуемого отношения сигнал/шум является наилучшим для транспондеров с канальной скоростью 100 Гбит/с.

**Передача 100G сигнала на 4000 км без оптических компенсаторов дисперсии.**

Наличие в транспондерах ATP-100-10 "Волга" внутренней электронной компенсации дисперсии позволяет с их помощью создавать сети связи нового поколения без использования оптических модулей для компенсации дисперсии. Возможность передачи сигнала 100G на расстояние 4000 км без оптических компенсаторов дисперсии экспериментально продемонстрирована на модельной линии связи.

Схема экспериментальной линии связи приведена на рис.3. Линия состояла из 27 участков длиной по 100 км и 26 участков по 50 км. Для компенсации потерь в волокне использовались линейные однокаскадные оптические усилители EDFA двух модификаций, отличающиеся коэффициентом усиления: 17 и 13 дБ. Линейные усилители EDFA с коэффициентом усиления 17 дБ устанавливались после участков волокна длиной 100 км, а линейные усилители

Параметр	Значение
Линейный интерфейс, скорость передачи в линии/нагрузка	OTU4, 111,8 / 99,5 Гбит/с
Выходная мощность с опт. усилителем	-5...0дБм
Диапазон рабочих длин волн передатчика	1528,7-1567,1 нм
Чувствительность приемника (BER=10 <sup>-12</sup> )	-18 дБм
Перегрузка приемника (BER=10 <sup>-12</sup> )	0 дБм
OSNR,(0,1нм, BER=10 <sup>-12</sup> )	12,5 дБ

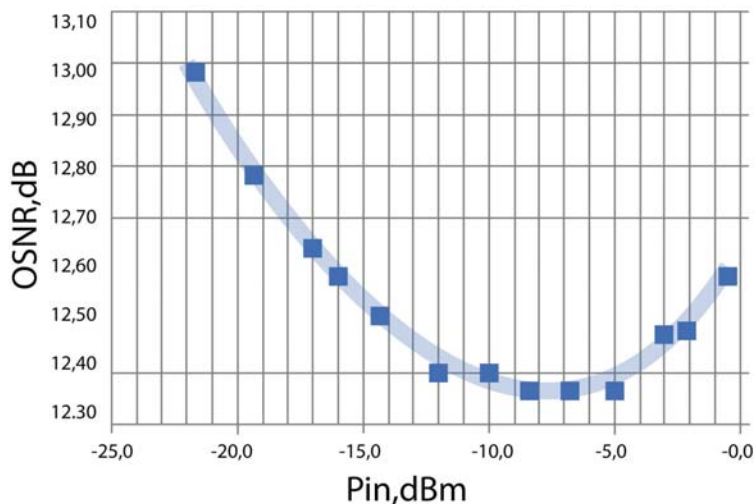


Рис. 2. Зависимость требуемого OSNR, приведенного к полосе 0,1 нм, от мощности сигнала на входе приемника

EDFA с коэффициентом усиления 13 дБ устанавливались после участков волокна длиной 50 км. Для выравнивания спектра DWDM сигнала после 1500 км и после 3000 км использовались специальные устройства выравнивания спектра, каждое из которых состоит из пары мультиплексоров — демультиплексоров, между которыми в каждом спектральном канале расположены переменные аттенюаторы. С помощью источника шума (источник усиленного спонтанного излучения ASE) и переменного

аттенюатора варьировалось значение OSNR, измеряемое оптическим анализатором спектра (OSA). Помимо 100G транспондеров "Волга" в линию через входной мультиплексор подавались оптические сигналы от 7 транспондеров 10G, равномерно распределенных по спектру в C-диапазоне.

При рабочих значениях мощности +1 дБм на входе в участки волокна длиной 100 км и 50 км на выходе линии OSNR на длине волны 21-го канала составил 20,5 дБ. Измеренное

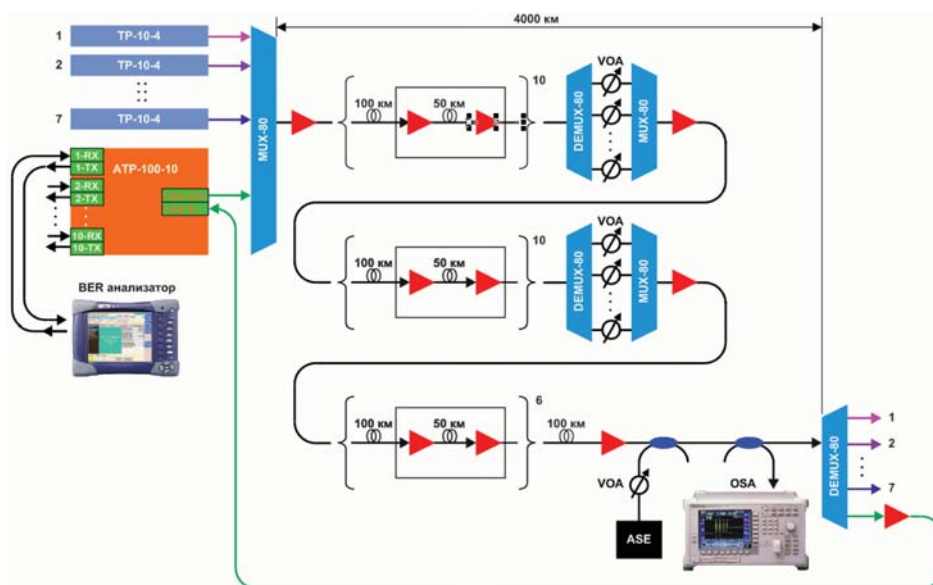


Рис.3. Схема экспериментальной установки

значение требуемого OSNR тестируемой линии длиной 4000 км с транспондерами 100G равно 15,1 дБ. Запас по OSNR, таким образом, составляет 5,4 дБ.

#### Тестирование 100G транспондера "Волга" в гетерогенных DWDM сетях.

Тестирование 100G транспондера "Волга" в гетерогенных DWDM сетях проводилось на экспериментальной установке, использовавшейся ранее для тестирования транспондеров 40G [4,6]. Линия связи состояла из 20 участков по 100 км телекоммуникационного волокна G.652, между которыми устанавливались двухкаскадные усилители с компенсирующими дисперсию модулями DCU, установленными между каскадами усиления.

При рабочих значениях мощности +0,5 дБм на входе в волокно на выходе линии OSNR на длине волны 34-го канала составил 22 дБ. Измеренное значение требуемого OSNR тестируемой гетерогенной линии длиной 2000 км с транспондерами 100G равно 16 дБ. Запас по OSNR, таким образом, составляет 6 дБ.

#### Заключение

Разработанный в компании Т8 транспондер 100Гбит/с "Волга" имеет лучшие в мире параметры качества сигнала 100Гбит/с: требуемый OSNR=12,5 дБ и электронную компенсацию

дисперсии до 75 000 пс/нм. В нем использованы самые современные технологии: когерентный прием, формат DP-QPSK, поляризационное мультиплексирование сигнала, коррекция ошибок SoftFEC. Максимальная емкость 80 канальной DWDM системы на основе транспондер 100Гбит/с "Волга" составляет 8 Тбит/с.

Продемонстрирована возможность совместной работы 100Гбит/с транспондеров "Волга" с транспондерами 40G и 10G в существующих гетерогенных сетях связи с оптическими компенсаторами дисперсии. Экспериментально осуществлена передача комбинированного сигнала с каналами 100/40/10G на расстояние 2000 км.

Таким образом, разработанные в компании Т8 транспондеры 100Гбит/с "Волга" и выпускаемые с 2011 года транспондеры 40 Гбит/с открывают перед Российскими операторами связи широкие перспективы по модернизации действующих сетей связи с постепенным увеличением канальной скорости с 10 до 40 и 100 Гбит/с без прерывания их работы. Благодаря отличным оптическим характеристикам транспондер Т8 может быть использован на линиях, построенных для 10Гбит/с без модернизации.

Кроме того, наличие электронной компенсации дисперсии (75 000 пс/нм) обеспечивает возможность построения экономически эффективных систем дальней связи нового поколения без оптических компенсаторов диспер-

сии, обладающих предельно малой физической задержкой передаваемых сигналов (Ultra Low Latency).

#### Литература

1. Редюк А.А. и др. Математическое моделирование экспериментального прототипа высокоскоростной линии связи на основе дифференциального фазового формата модуляции без возвращения к нулю // Квантовая электроника. — 2011. — Т.41, №10. — С.929-933.
2. Наний О.Е., Трещиков В.Н. Российское оборудование DWDM с канальной скоростью 40 G и 100 G // Вестник связи. — 2011. — №4. — С.52-58.
3. Гуркин Н.В., Капин Ю.А., Павлов В.Н., Плакин С.О., Трещиков В.Н. Характеристики однопролетной системы DWDM с каналами 40 Гбит/с DPSK в сетке 50 Гц // Электросвязь. — 2012. — №1.
4. Наний О.Е., Новиков А.Г., Плоцкий А.Ю., Трещиков В.Н., Убайдуллаев Р.Р. Характеристики многопролетной системы DWDM с каналами 40 Гбит/с DPSK в сетке 50 Гц // Электросвязь. — 2012. — №5.
5. Наний О.Е., Трещиков В.Н. Анализ форматов модуляции для систем DWDM со скоростью 40 Гбит/с // Вестник связи. — 2012. — №1. — С.35-38.
6. Наний О.Е., Трещиков В.Н. Российское оборудование 40 Гбит/с — реальность! // Фотон-экспресс. — 2010. — №5 (85). — С.28-30.

### The Russian DWDM equipment with channel speed of 100 Gbit/c

Gurkin N.V., engineer LLC "T8", Candidate of Technical Sciences

Treshchikov V.N., director LLC "T8", candidate of physical and mathematical sciences

Novikov A.G., engineer LLC "T8", Candidate of Technical Sciences

Nany O.E., head of department LLC "T8", professor of the Moscow State University, doctor of physical and mathematical sciences

#### Abstract

The Russian company T8 developed 100 Gbit/c first in Russia with a transponder "Volga" with the parameters of quality of a signal best in the world (demanded OSNR of 12,5 dB) and record-breaking importance of electronic compensation of dispersion (75000 ns/nanometer). High quality of the equipment is confirmed with successful transfer of 100 Gbit/c with on 4000 km without dispersion compensation in the 80th channel DWDM system. "Volga" in heterogeneous DWDM networks in common channels of 40 and 10 Gbit/c is shown by possibility of work of 100 Gbit/c from transponder. Creation of the Russian equipment with the parameters of quality of a signal best in the world (demanded OSNR) and competitive prices opens ample opportunities for development of speed of 100 Gbit/c with the Russian communications service providers.

#### Referenses

1. Redyuk A.A., etc. Mathematical modeling of an experimental prototype of the high-speed communication line on the basis of a differential phase format of modulation without return to zero // Quantum electronics, 2011. — V.41, № 10. — pp. 929-933.
2. Nany O.E., Treshchikov V.N. The Russian equipment of DWDM with channel speed of 40 G and 100 G // the Messenger of communication, 2011. — №4. — pp. 52-58.
3. Gurkin N.V., Kapin Yu.A., Pavlov V.N., Plaksin S.O., Treshchikov V.N. Characteristics of one-flying system DWDM with channels of 40 Gbit / with DPSK in a grid of 50 GHz // Telecommunication, 2012. — № 1
4. Nany O.E., Novikov A.G., Plock A.Yu., Treshchikov V.N., Ubaydullayev R.R. Characteristics of multifying system DWDM with channels of 40 Gbit / with DPSK in a grid of 50 GHz // Telecommunication, 2012. — №5.
5. Nany O.E., Treshchikov V.N. The analysis of formats of modulation for DWDM systems with speed of 40 Gbit/c // the Messenger of communication, 2012. — №1. — pp. 35-38.
6. Nany O.E. Treshchikov V.N. The Russian equipment of 40 Gbit/c — reality! // Photon express, 2010. — №5 (85). — pp. 28-30.