

## OTN - это не только FEC

©Modultech

В описании систем спектрального уплотнения часто можно встретить выражение «Поддерживает FEC». На первый взгляд данное выражение – не особо нуждается в дополнительных разъяснениях – «поддержка FEC» означает, что при передаче данных применяются алгоритмы коррекции ошибок. Которые позволяют добиться возможности передавать данные на большее расстояние. Однако, если внимательнее приглядеться, что же стоит за этим термином, то возникнут вопросы. Каким образом реализуется FEC? Насколько совместимо оборудование различных производителей? Какие еще функции могут реализовывать подобные устройства?

Тут необходимо вспомнить историю возникновения и развития технологии спектрального уплотнения.

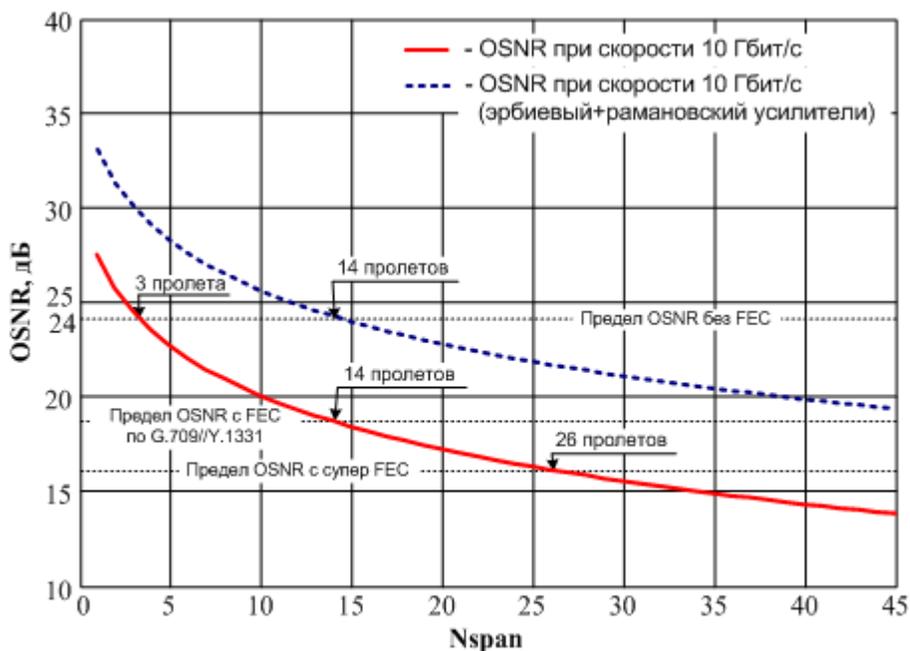
В свое время, в связи с взрывным ростом потребности в объемах передачи данных по магистральным каналам встал вопрос о необходимости увеличения пропускной способности линий связи. Для решения этой задачи наиболее широкое распространение получила технология спектрального уплотнения. Основным преимуществом данной технологии было отсутствие необходимости замены установленного оборудования транспортных сетей. Оборудование DWDM «надстраивалось» над существующей инфраструктурой систем передачи. При этом, это оборудование было мультисервисным – т.е. в одном физическом волокне могли сосуществовать не только сигналы SDH/SONET разных уровней, но и сигналы других протоколов, например все более набирающая популярность технология Ethernet. С точки зрения существующего оборудования, каждая длина волны была видна как отдельная и независимая от других среда передачи.

Однако, по мере строительства и эксплуатации сетей передачи данных на базе технологии DWDM, были выявлены определенные системные проблемы. Имеет смысл рассмотреть их по отдельности.

### 1. «Накопление» шумов.

При передаче сигнала в оптическом волокне его мощность падает за счет рассеяния. Для восстановления уровня сигнала можно использовать оптические усилители. Однако, оптические усилители усиливают не только полезный сигнал, но и попадающие на вход шумы. Поэтому, при передаче сигнала на значительные расстояния, даже при использовании усилителей, соотношение сигнал/шум непрерывно ухудшается и, в какой-то момент, количество вызванных шумами ошибок становится неприемлемым (рис.1)[1].

Рис.1 Зависимость OSNR от количества пролетов Nspan для STM-64,  
Pch.out = 3дБм,  $\alpha_s = 22$ дБ, NFASE = 6.5 дБ



Казалось бы, поскольку уровень собственных шумов в волокне является величиной постоянной, естественным решением проблемы было бы увеличение уровня полезного сигнала. Однако, при увеличении мощности в волокне выше определенного порога, резко начинают расти вносимые нелинейные искажения. В случае передачи сигнала в системах со спектральным уплотнением, ситуация усугубляется тем, что данное ограничение распространяется на групповой сигнал в целом и, таким образом, максимальный уровень индивидуального сигнала существенно ограничивается. Кроме того, при повышении мощности индивидуального сигнала возрастают также и межканальные помехи. При этом, реализовать механизмы повышения помехоустойчивости соединения на уровне транспортной сети не представляется возможным, так как исходный сигнал узлами не обрабатывается, а передается «как есть»

## 2. Управление и мониторинг.

Основной ранее применявшейся на транспортных сетях технологией была технология SDH/SONET. Поэтому рассмотрим, для примера, схему системы передачи именно на ее базе.

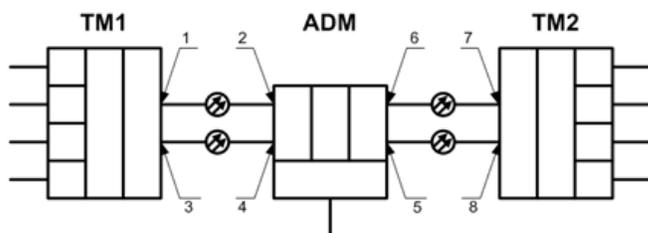


Рис.2 Схема системы передачи на базе технологии SDH/SONET.



низкоскоростных. Передача низкоскоростных сигналов по транспортной сети приводит к тому, что ее пропускная способность используется неэффективно.

В рамках технологии SDH/SONET данная проблема решается мультиплексированием – объединением нескольких низкоскоростных сигналов в один высокоскоростной.

При передаче же сигнала по сети DWDM, подобная оптимизация использования ресурса сети невозможна, т.к. сигнал передается «как есть». Таким образом, эффективность использования существующей пропускной способности сети снижается.

Для решения указанных проблем была разработана технология оптических транспортных сетей/оптическая транспортная иерархия (OTN/OTH). Технология OTN/OTH основана на том, что исходный сигнал структурируется и к нему добавляется дополнительная служебная информация.

Данная технология стандартизована Международным союзом электросвязи в стандартах ITU G.872/G709. Стандарт определяет:

- Иерархию сигналов в сети OTN
- Функции дополнительной информации, передаваемой по сети OTN
- Структуру кадра, скорости и форматы для передачи различных типов пользовательской информации

Физическая структура сети определяется следующими терминами (Рис 4.):

- Оптическая транспортная секция (OTS)

Участок сети, на котором происходит передача сигнала без его физического изменения (мультиплексирования, усиления или регенерации). В русской литературе для OTS принят термин Элементарный кабельный участок (ЭКУ)

- Оптическая секция мультиплексирования (OMS)

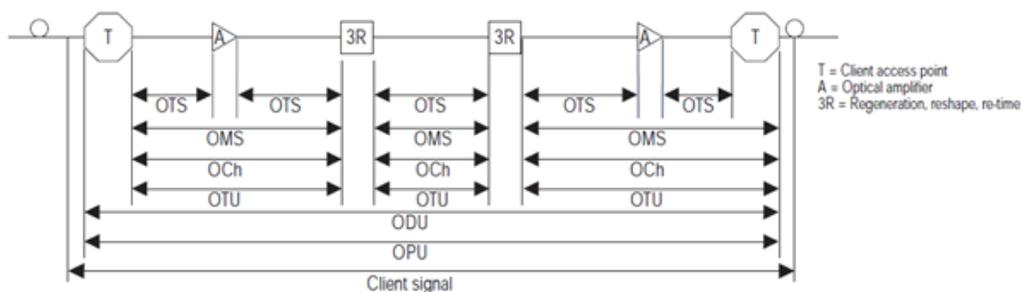
Участок сети, на котором оптический сигнал передается без преобразования в электрический или другой оптический (мультиплексирования или регенерации)

- Оптический канал (OCh)

Одиночный канал (длина волны) в пределах секции мультиплексирования.

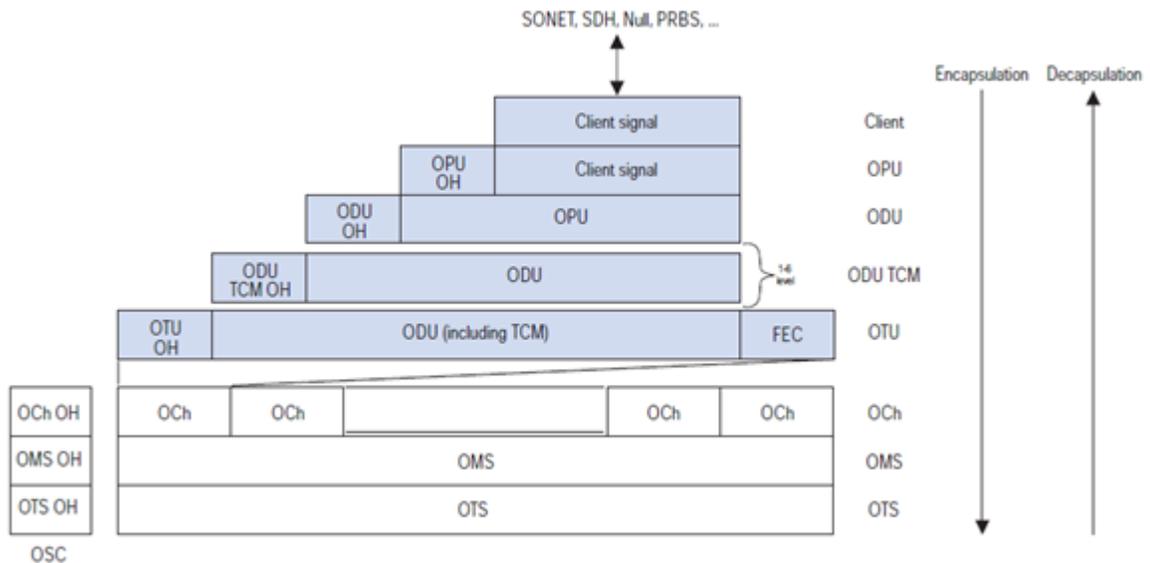
При этом необходимо иметь ввиду, что, в случае наличия Add-Drop мультиплексоров – для разных оптических каналов секции мультиплексирования могут быть различными. Обычно, секция мультиплексирования представляет собой участок между двумя мультиплексорами, в которых производится ввод-вывод оптического канала. Однако, важным моментом является то, что в случае наличия в тракте регенераторов (3R, ОЕО преобразователей) – секция мультиплексирования ограничивается ими.

Рис 4. Иерархия сети OTN.



Рассмотрим теперь иерархию сигналов, передаваемых поверх OTN и функции, исполняемые на каждом уровне (рис 5.).

Рис 5. Иерархия уровней OTN



Нижним уровнем иерархии является Optical payload unit (OPU).

OPU передается из конца в конец всего тракта передачи сигнала, т.е. между терминальными мультиплексорами. Служебная информация OPU выполняет две функции:

- определение типа передаваемого сигнала (поле PSI). Специальное значение байта 0 PSI 20h показывает, что OPU содержит мультиплексированный сигнал (несколько ODU более низкого уровня), а байты 2-17 в этом случае определяют тип и номер каждого потока в мультиплексе.

- передача сигнала синхронизации в случае, если передаваемый сигнал – асинхронный (поле JS)

Таким образом, уровень OPU решает задачу инкапсулирования полезного сигнала в сигнал OTN и задачу мультиплексирования сигналов.

Следующим уровнем иерархии является Optical Data Unit (ODU)

ODU также передается из конца в конец тракта, однако ее функции связаны не с самим сигналом, как таковым, а с реализацией задач управления и мониторинга всего тракта передачи сигнала между конечными узлами. ODU выполняет следующие функции:

- передача в обратном направлении аварийных сообщений (PM)
- передача служебной информации при прохождении тракта по сетям различных операторов (поля TCMi, TCMACT)
- передача информации об обнаруженных ошибках и предполагаемом месте их расположения (поле FTFL)
- передача служебной информации из конца в конец тракта (поля GCC1/GCC2)
- передача информации о переключении основного и служебного каналов на резервный путь (вложенные поля APS/PCC)

Таким образом, уровень ODU решает задачи мониторинга и управления тракта передачи в

целом, из конца в конец.

Верхним уровнем иерархии является Optical Transport Unit (OTU).

В отличие от двух предыдущих уровней, информация на уровне OTU передается только в рамках секции мультиплексирования.

Уровень OTU выполняет следующие функции:

- framing, т.е. разбивка сигнала на кадры и мультикадры (поля FAS/MFAS)
- передачу обратного сигнала об обнаруженных в пределах секции мультиплексирования ошибках (SM)
- передача служебной информации в пределах секции мультиплексирования (поле GCC0)
- передача информации, необходимой для коррекции ошибок (FEC)

Таким образом, помимо общеизвестной функции коррекции ошибок, использование OTN позволяет на уровне транспортной сети решить следующие важнейшие задачи эксплуатации и техобслуживания линий передачи данных на базе технологии DWDM:

- организовать мониторинг не только физических параметров сигнала, но и его структуры и ошибок передачи данных;
- организовать передачу информации об ошибках и месте их возникновения;
- реализовать механизм переключения тракта на резервный при обнаружении ошибок;
- организовать передачу служебной информации и информации управления без использования выделенного оптического сервисного канала.

Вышесказанное означает, что DWDM как технология транспортных сетей, сохраняя все свои достоинства, приобретает также и все возможности технологии SDH/SONET в части управляемости, уменьшения стоимости эксплуатации и совместимости оборудования различных производителей.