

# МУЛЬТИПЛЕКСОРЫ СЕТЕЙ OTN/DWDM

А. В. Ульянов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: [ulyanov\\_av@spbgut.ru](mailto:ulyanov_av@spbgut.ru)

## Аннотация

**Предмет исследования.** В статье рассматриваются подходы к построению мультиплексоров оптических транспортных сетей. **Метод.** Анализ преимуществ и недостатков существующего оборудования на основе требований, предъявляемых к современным транспортным сетям. **Основные результаты.** Сделаны выводы о целесообразности применения различных типов мультиплексоров OTN в зависимости от поставленных задач. Определены тенденции развития в построении оборудования OTN. **Практическая значимость.** Приведены структурные схемы мультиплексоров OTN, даны подробные описания принципов их работы. Произведен анализ подходов как к построению самих мультиплексоров, так и сетей на их основе.

## Ключевые слова

OTN, DWDM, мультиплексор, транспондер, мукспондер, магистральные сети, интеллектуальные транспортные сети.

## Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 28.06.16, принята к печати 26.08.16.

**Ссылка для цитирования:** Ульянов А. В. Мультиплексоры сетей OTN/DWDM // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 3. С. 85–94.

# MULTIPLEXERS NETWORKS OTN/DWDM

A. Ulyanov<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\* Corresponding author: [ulyanov\\_av@spbgut.ru](mailto:ulyanov_av@spbgut.ru)

**Abstract—Research subject.** The article discusses ways of OTN multiplexers' constructing. **Method.** An analysis of advantages and disadvantages of existing OTN equipment based on requirements for the modern core networks. **Core results.** The conclusions about appropriateness of using different types of OTN multiplexers depending on technical tasks. The main tendencies of development in OTN equipment constructions have been defined. **Practical relevance.** Block diagrams of the OTN

multiplexers with detail descriptions of the principle of its operation presents in article. Analysis of approaches to development both multiplexers and networks based on them have been performed.

**Keywords**—OTN, DWDM, multiplexer, transponder, muxponder, core networks, intelligent transport networks.

### Article info

Article in Russian.

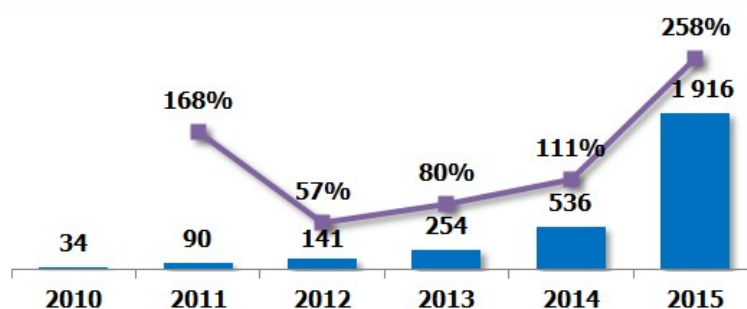
Received 28.06.16, accepted 26.08.16.

**For citation:** Ulyanov A.: Multiplexers networks OTN/DWDM // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 3. pp. 85–94 (in Russian).

## Введение

В октябре 2016 г. компания J'son & Partners Consulting представила исследование рынка DWDM оборудования в России (рис. 1)<sup>1</sup>. Тот факт, что темпы роста пропускных способностей магистральных сетей отечественных операторов из года в год значительно увеличиваются, красноречиво говорит о необходимости внедрения нового и более совершенного оборудования OTN/DWDM сетей.

Пропускная способность магистральных DWDM сетей (в тысячах 10G каналo-км) и темпы ее роста в России



Источник: Минкомсвязи, J'son & Partners Consulting

Рис. 1. Темпы увеличения емкостей магистральных каналов

При этом, рост числа магистральных каналов приводит к усложнению самих сетей и ставит совершенно новые задачи перед производителями оборудования. Появление на магистралях технологии DWDM было призвано увеличить эффективность использования оптических волокон за счет пассивного мультиплексирования. Такое оборудование рассчитано, по большей части, на топологии точка-точка и линейная цепь с функцией ввода-вывода (с использованием ROADM).

Однако, для сетей со сложными топологиями крупных транзитных операторов, таких как, например, ReTN<sup>2</sup>, от оборудования требуется уметь гибко управлять загрузкой магистральных линий, осуществлять цифровое мульти-

<sup>1</sup> Рынок DWDM оборудования в России, 2011-2020 гг. URL: [http://json.tv/ict\\_telecom\\_analytics\\_view/rynok-dwdm-oborudovaniya-v-rossii-2011-2020-gg-20161020091610](http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-dwdm-oborudovaniya-v-rossii-2011-2020-gg-20161020091610)

<sup>2</sup> Сеть – RETN. URL: <http://retn.net/ru/networkmap/>

плексирование и коммутацию, при необходимости резервировать отдельные каналы и многое другое.

В этой статье авторы ставят целью внимательно изучить функциональность различных типов мультиплексоров магистральных сетей, а так же оценить тенденции в их развитии.

### DWDM мультиплексоры

Пассивные устройства мультиплексирования по длинам волн на физическом уровне первыми начали применяться на магистралях. Сами мультиплексоры, как правило, строятся на одном из трех подходов AWG, CG или 3DO [1].

Первые два метода основаны на использовании одного (с зеркалом) или двух оптических разветвителей и световодов с фиксированной разницей длин, то есть имитирующих собой дифракционную решетку. Весь мультиплексор же представляет собой, по сути, многомерный интерферометр Маха-Цандера.

Метод 3DO основан на использовании вогнутого зеркала и дифракционной решетки. Принцип его работы заключается в том, что решетка отражает каждую длину волны под своим углом, за счет чего, при правильно выбранном и зафиксированном положении решетки и световодов, и осуществляется мультиплексирование.

В технологии DWDM используются длины волны С-диапазона (1530–1565 нм). Ввиду достаточно большого диапазона длин волн мультиплексоры сетей DWDM, как правило, строятся по каскадной схеме (рис. 2).

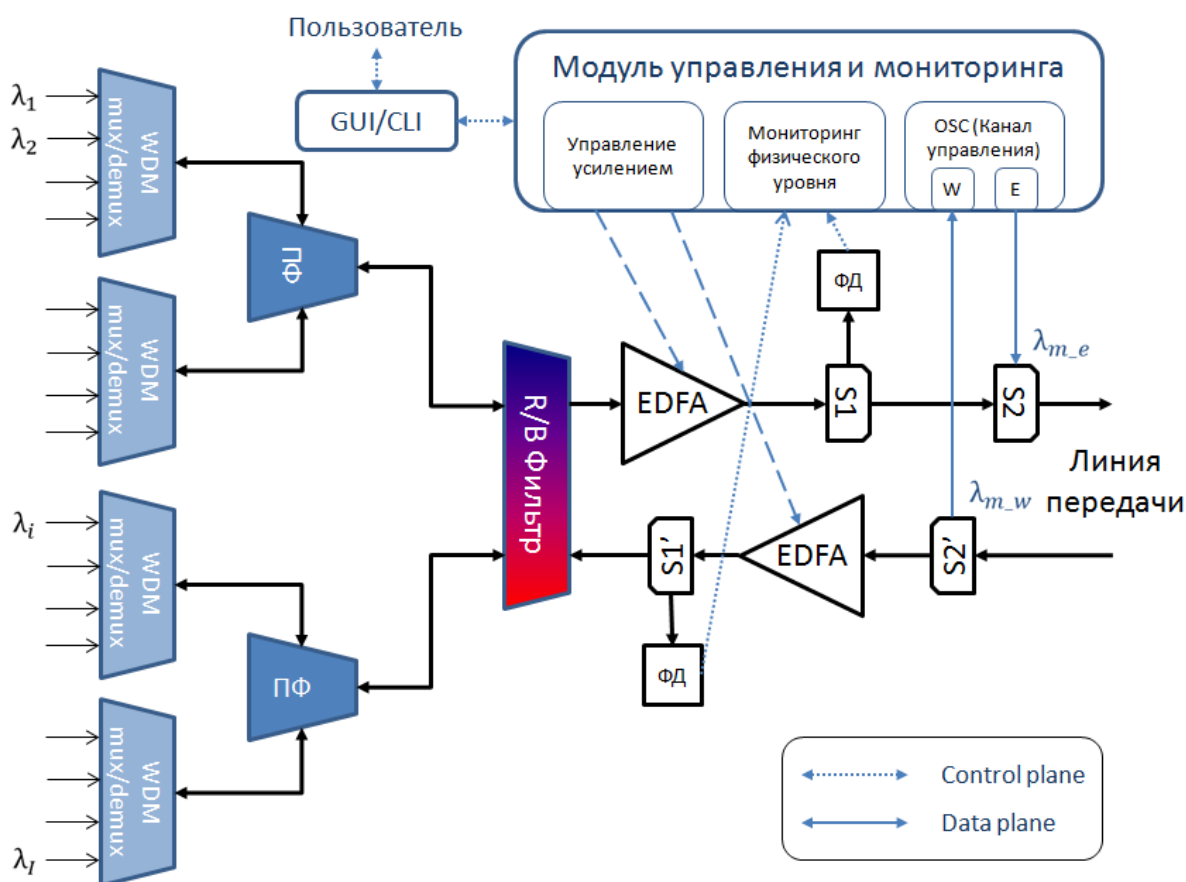


Рис. 2. Структурная схема DWDM мультиплексора

Все преобразования над входными сигналами в мультиплексоре осуществляются в оптическом диапазоне, вследствие чего никаких цифровых преобразований в структуре клиентских потоков не происходит.

Сигнал клиента на определенной длине волны из С-диапазона поступает на вход мультиплексора DWDM. С выхода мультиплексора групповой сигнал поступает на полосовой фильтр (являющийся, по сути, также WDM мультиплексором), в котором происходит дальнейшее объединение сигналов по длинам волн. Последним этапом мультиплексирования сигналов является Red/Blue фильтр, который объединяет длины волн красного и синего поддиапазонов.

Структура окончания группового линейного тракта может различаться в зависимости от производителя оборудования. Рассмотрим наиболее полный вариант.

На первом этапе групповой оптический сигнал попадает на управляемый эрбиевый усилитель для согласования уровня передачи с линейным трактом. С выхода усилителя сигнал поступает в оптический разветвитель S1, в котором делится в соотношении мощности 1/99. Меньшая часть поступает на плату управления мультиплексора, где через полосовой C-band фильтр поступает на фотодиод для измерения мощности выходного сигнала.

В разветвителе S2 к групповому сигналу подмешивается сигнал управления (OSC – *optical supervisory channel*) оптической секцией передачи (OTS) и оптической секцией мультиплексирования (OMS). Как правило, это низкоскоростной Ethernet канал (10 или 100 Мбит/с), передающийся на длине волны вне С-диапазона, например, в районе 1310 нм. Функции контроля и управления групповым сигналом доступны пользователю через интерфейс командной строки или графический интерфейс и заключаются в мониторинге мощности оптического сигнала и управлении усилением в оконечных и усилительных пунктах.

Стоит заметить, что применение пассивных DWDM мультиплексоров в том виде, как они рассмотрены выше, в современных транспортных сетях постепенно уменьшается. Сегодня основная ниша, где они востребованы, – это сети MAN, в которых необходимы относительно дешевые решения для объединения data-центров в пределах города. Однако, и в магистральных сетях такие мультиплексоры, по-прежнему, являются неотъемлемой частью (оконечным оборудованием линейного тракта) более сложных устройств, о которых пойдет речь в дальнейшем.

### **Транспондеры и мукспондеры**

Главным недостатком пассивных устройств является полное отсутствие мониторинга целостности клиентских сигналов. Хорошо зарекомендовавшая себя транспортная технология SDH, которая ориентируется в первую очередь на передачу плезиохронных потоков, не отвечает всем требованиям современных глобальных IP сетей.

В 2001 году вышла первая редакция рекомендации G.709/Y.1331 МСЭ-Т, описывающая канальный уровень оптических транспортных сетей на основе технологии DWDM. Технология, описанная в рекомендации, получила название OTN, а главной ее особенностью стало наличие всех механизмов контроля и мониторинга сети, унаследованных от SDH, при отсутствии ориентированно-

сти на определенный тип клиентских сигналов. Кроме того, наличие стандартного механизма FEC (коррекция ошибок в прямом направлении) позволило получить выигрыш в соотношении сигнал/шум до 8 дБ.

Производители оборудования отреагировали на появление технологии разработкой цифровых устройств адаптации клиентских сигналов к сетям DWDM – транспондеров и мукспондеров (рис. 3).

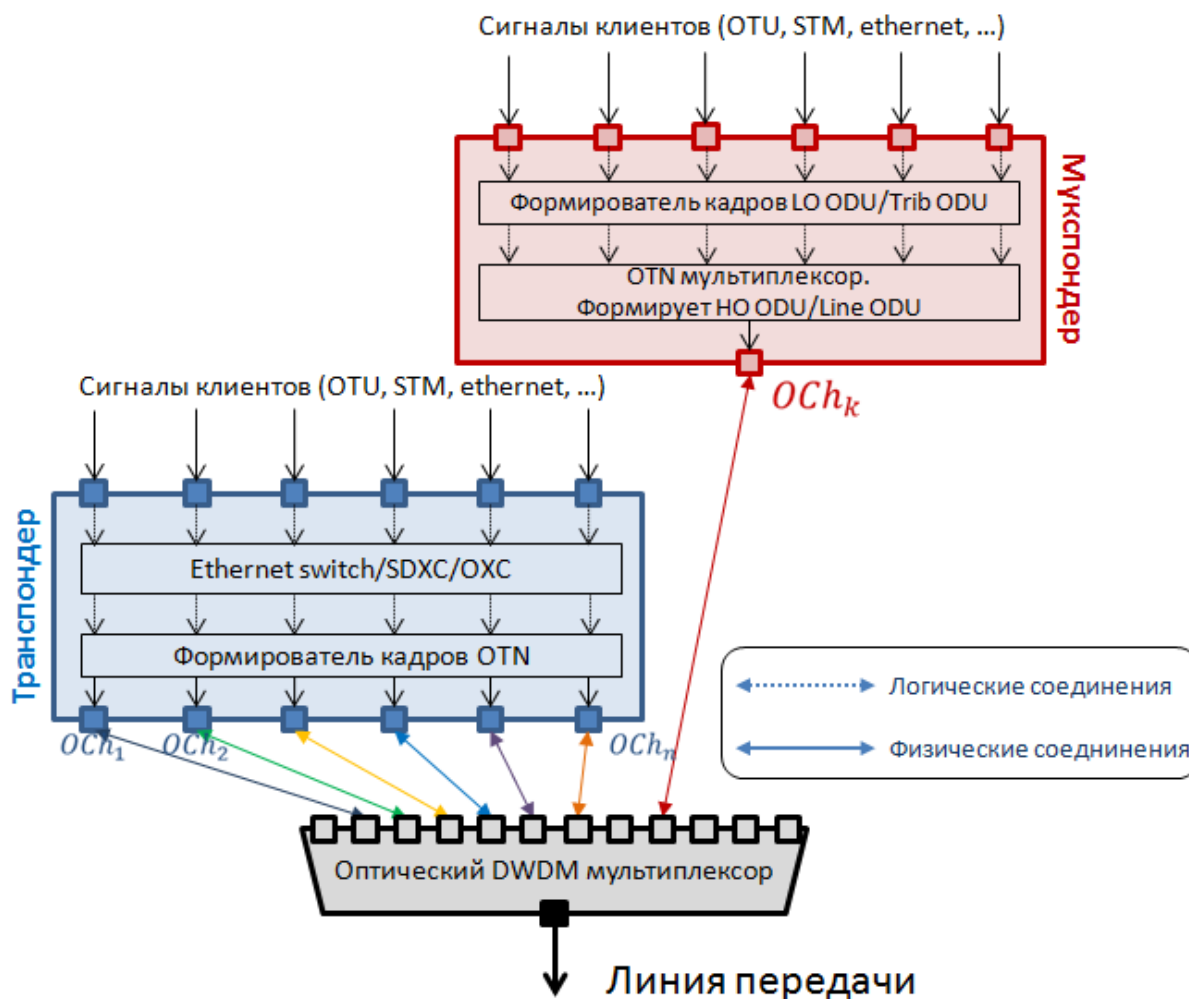


Рис. 3. Структурная схема транспондера и мукспондера

Рассмотрим принцип работы транспондера. Сигналы клиентов поступают на  $N$  соответствующих входных портов. Стоит отметить, что в отличие от пассивного мультиплексора, здесь нет жестких требований к длине волны входящего сигнала, то есть для всех клиентов можно использовать стандартные недорогие трансиверы с длиной волны 1310 нм.

На первом этапе клиентские сигналы отправляются на соответствующий своей технологии коммутатор, в котором производится логическая привязка входного порта транспондера к выходному. Транспондер имеет  $M$  выходных портов – по числу клиентских, однако в зависимости от производителя, входные и выходные порты могут быть жестко привязаны друг к другу попарно. В таком случае модуля внутренней коммутации в транспондере нет, а его задача

сводится исключительно к инкапсуляции клиентского сигнала в кадры ODU (с использованием GFP, GMP, асинхронного ввода и т. д.), добавления FEC и формирования выходных цифровых кадров OTU. За эти процедуры отвечает формирователь кадров. Каждому клиентскому сигналу соответствует свой OTU на его выходе.

В передатчиках линейных портов формируются оптические каналы (OCh), т. е. каждый OTU передается на своей длине волны. В зависимости от модели транспондера выходные лазеры могут иметь как фиксированную длину волны (такой вариант используется, как правило, при наличии встроенных коммутаторов), либо могут быть перестраиваемыми. Более широкое распространение получил второй вариант, поскольку в этом случае нет необходимости усложнять (и увеличивать стоимость) транспондера за счет интеграции коммутаторов под каждую технологию.

В отличие от транспондера, мукспондер не просто преобразует клиентский сигнал в формат OTN, но и выполняет функции цифрового мультиплексирования. Клиентский сигнал, так же, как и в транспондере, на первом этапе размещается в кадры ODU низкого порядка (их часто называют Trib ODU) в формирователе кадров. Мультиплексор OTN синхронно мультиплексирует ODU низкого порядка в ODU высокого порядка (Line ODU). Процедура FEC рассчитывает контрольную сумму по групповому кадру и на выходе мультиплексора формируется только один Line OTU. Соответственно, мукспондер формирует один оптический канал, при этом длина волны, как правило, перестраиваемая.

Преимущества мукспондера перед транспондером очевидны. Во-первых, это экономия портов на оптических DWDM мультиплексорах, что позволяет эффективнее использовать пропускную способность линий связи. Вторым важным достоинством мукспондера является экономия вычислительных ресурсов: самой затратной процедурой формирования кадра OTU является расчет контрольной суммы FEC. В транспондере эта процедура выполняется для каждого клиентского сигнала ( $N$  раз), а в мукспондере лишь однажды, что позволяет использовать более помехозащищенные алгоритмы расчета – HD FEC на основе каскадных кодов и SD FEC на основе «мягкого» принятия решения.

В современных сетях транспондеры используются крайне редко ввиду описанных выше недостатков. Мукспондеры же широко распространены в связке с технологией Alien Wave, то есть в тех случаях, когда оператор не имеет собственного линейного тракта и вынужден покупать «длину волны», то есть порт на DWDM мультиплексоре другого оператора.

### **Мультиплексоры с интегрированной OTN коммутацией**

Все предыдущие устройства по большей части ориентированы на простые топологии, например, точка-точка. Однако, как уже было сказано выше, современные транспортные сети – сложная «паутина» с большим количеством линий передачи и коммутационных узлов. Для таких сетей необходимы устройства, способные решать задачи коммутации клиентских каналов на промежуточных узлах (рис. 4).



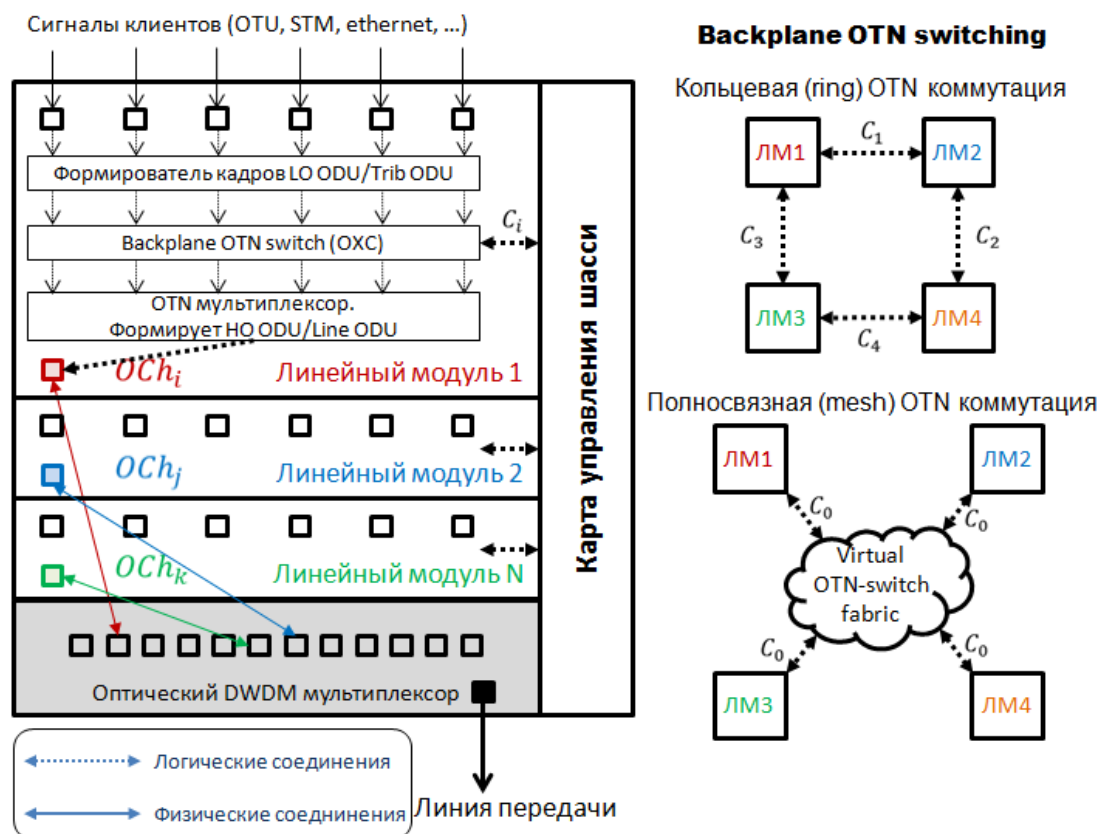


Рис. 4. Структурная схема мультиплексора с интегрированной OTN коммутацией

Мультиплексоры с интегрированной OTN коммутацией представляют собой шасси с единой картой управления, состоящей из линейных модулей, по сути являющихся мукспондерами, но с одним существенным отличием. Как мы рассмотрели выше, в мукспондерах ODU низкого порядка с выхода формирователя кадров отправляются напрямую на мультиплексор. Здесь же каждому такому ODU программно через карту управления устанавливается путь: на встроенный мультиплексор или через backplane switch (*backplane cross-connector*) на другую линейную карту. Это позволяет формировать цифровые логические соединения между клиентскими портами одного линейного модуля и линейным портом другого, а также между линейными портами разных модулей.

Например, групповой сигнал  $OCh_i$ , пришедший на линейный порт модуля 1, после демультимплексирования разбирается на  $M$  ODU низкого порядка. Один из этих ODU, например  $m$ -й, необходимо передать дальше по магистральной сети через линейный порт линейного модуля 2. После демультимплексирования  $m$ -й ODU через backplane switch отправляется из мультиплексора линейного модуля 1 на мультиплексор линейного модуля 2, мультиплексируется в Line ODU и выводится в  $OCh_j$  через линейный порт линейного модуля 2.

Такой подход позволяет без каких-либо физических манипуляций в виде организации дополнительных кроссировок (и, как следствие, перерывов связи) осуществлять транзитную передачу каждого отдельно взятого ODU низкого порядка в любом направлении с возможностью гибкого программного изменения маршрутов каналов по сети.

Что же представляет собой Backplane Switch? На рис. 4 представлены два варианта организации логической коммутации между линейными картами. Ва-

риант с кольцевой (*ring*) топологией реализуется за счет внутренних шин, соединяющих соседние линейные карты между собой (и первую с последней). Полносвязная (*mesh*) топология подразумевает соединение всех линейных модулей попарно между собой, формируя, тем самым, виртуальное "облако" коммутации.

Преимущество первого метода в меньшем количестве шин ( $M$ ), однако для безотказной полной связности между всеми линейными картами пропускные способности шин должны быть равны

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = \sum_{i=1}^N B_i,$$

где  $B_i$  – пропускная способность линейной карты,  $N$  – количество линейных карт.

При использовании *mesh* коммутации требуется  $\frac{N(N-1)}{2}$  шин, однако пропускная способность каждой из них определяется пропускной способностью линейной карты, подключенной к ней.

В описанном выше мультиплексоре все задачи по адаптации, передаче и коммутации сигналов ложатся на линейные модули. Такой подход чреват тем, что это при проблемах с коммутационной логикой, однако с рабочей логикой передачи, линейная карта оказывается неработоспособной.

Более современным подходом к построению мультиплексоров со встроенной OTN коммутацией является придание ему модульно-блочной структуры (рис. 5).

Группа трибутарных блоков выполняет функцию адаптации клиентских сигналов к сети OTN путем инкапсуляции данных клиента в ODU низкого порядка. Группа линейных блоков реализует задачи мультиплексирования ODU низкого порядка в ODU высокого порядка и формирование линейных сигналов.

Основным отличием такого мультиплексора является наличие отдельных модулей OTN коммутации – ОХС (*OTN cross-connectors*). Соединение всех модулей разных типов между собой осуществляется с помощью шин. Каждый трибутарный модуль подключен к блоку OTN коммутации шиной с пропускной способностью, равной сумме максимальных пропускных способностей клиентских портов. Линейный же модуль подключен к модулю коммутации шиной с пропускной способностью, равной скорости линейного сигнала, формируемого данным модулем.

Сам же ОХС представляет собой управляемую интегральную схему, в задачу которой входит установление логических соединений между клиентскими и линейными портами мультиплексора. То есть для каждого ODU низкого порядка программно назначается TS (временной интервал) для мультиплексирования в определенный ODU высокого порядка. Кроме того, такие мультиплексоры обладают возможностью установления соединения между парой трибутарных или парой линейных портов.



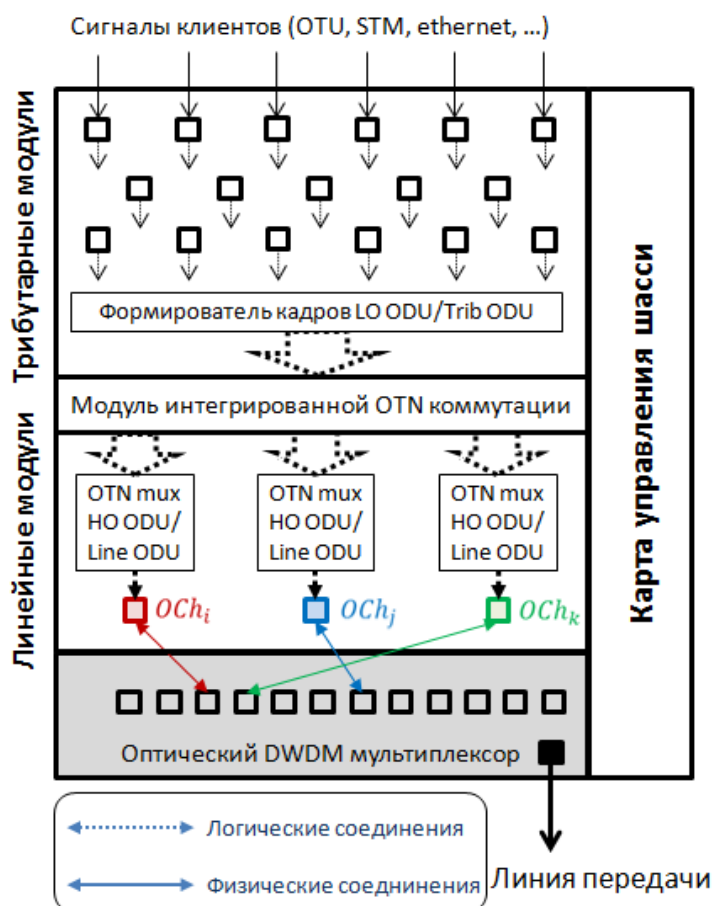


Рис. 5. Модульный мультиплексор с OTN коммутацией

На сегодняшний день такой подход к построению мультиплексоров является наиболее современным и отвечающим задачам транспортных сетей. За счет построения логических соединений внутри шасси (cross-connections) и построения GMPLS соединений между узлами сети по технологии G.8080 ASON, появляется возможность формировать каналы любой сложности и протяженности на сети оператора в автоматическом режиме. Кроме того, это позволяет гибко резервировать как отдельные клиентские каналы, так и магистральные линии «горячим» резервом без необходимости ручной коммутации в случае аварий.

### Заключение

За последние 15–20 лет внедрения технологии DWDM в транспортные сети подход к построению как самих сетей, так и мультиплексоров для них сильно изменился, начиная от простых пассивных устройств и заканчивая современными интеллектуальными транспортными платформами.

Однако, это далеко не предел в развитии OTN сетей и соответствующего оборудования. Уже сегодня становится понятно, что рост сетей и их усложнение бросают транспортным сетям новые вызовы, например, необходимость реализовывать traffic engineering на уровне OTN, интеграцию технологии OTN с устройствами сетевого уровня, введение CoS и QoS для клиентского трафика и многое другое.

Сегодня популярными направлениями исследования являются интеграция технологии OTN с технологией программно-управляемых сетей SDN<sup>3</sup> или внедрение OSPF-TE на уровне OTN<sup>4</sup>. Однако заложенный в технологию OTN потенциал позволит еще долгие годы совершенствовать устройства таких сетей и отвечать всем современным требованиям операторов связи.

### **Литература**

1. Колотовкина Г. В., Храпова Е. А. Оптические мультиплексоры для технологии WDM // Материалы II международной НПК «Наука XXI века: опыт прошлого – взгляд в будущее». Омск, 2016. С. 168–173.

### **References**

1. Kolotovkina, G. V., Hrapova, E. A. Optical Multiplexers for WDM Technology // II International Scientific and Practical Conference "Science of the XXI century: Experience of the Past – Look into the Future". Omsk. 2016. pp. 168–173.

***Ульянов Андрей Викторович***

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург,  
193232, Российская Федерация, ulyanov\_av@spbgut.ru

***Ulyanov Andrey***

– postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,  
Russian Federation, ulyanov\_av@spbgut.ru

---

<sup>3</sup> Контроллер для T-SDN. URL: <https://habrahabr.ru/company/netcracker/blog/276643/>

<sup>4</sup> Traffic Engineering Extensions to OSPF for Generalized MPLS (GMPLS) Control of Evolving G.709 OTN Networks. URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ccamp-gmpls-ospf-g709v3-13>