

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

02 2018 г.

## ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ OTN-OTN. ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ ETHERNET

Методические указания  
по выполнению практической работы  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
по дисциплине «Проектирование транспортных оптических систем  
передачи»

Курск 2018

УДК 004.716

Составители: А. А. Гуламов, Е. С. Маклаков

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
профессор кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

**Транспортная сеть OTN-OTN. Транспортная сеть Ethernet:** методические указания по выполнению практической работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, Е. С. Маклаков. - Курск, 2018. – 13 с.: ил.5, табл. 1. – Библиогр.: с. 13.

Методические указания по выполнению практической работы содержат теоретические сведения о моделях и технологиях применяемых для построения оптических транспортных сетей, а также задания для выполнения работы и перечень вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Полученные знания в результате выполнения работы дают возможность сформировать целостную картину информационного взаимодействия в современных телекоммуникационных системах доступа. Данное методическое указание направлено на формирование у студентов следующих профессиональных компетенций: ПК-5.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Проектирование оптических систем доступа», утверждённой методическими комиссиями по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Проектирование транспортных оптических систем передачи» очной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 14.02.18. Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 0,755. Уч.-изд. л. 0,68. Тираж 100 экз. Заказ. 996. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

1 Цели работы.....	4
2 Краткие теоретические сведения.....	4
3                                   Транспортная                                   сеть Ethernet.....	7
4 Задание на практическую работу.....	12
5 Контрольные вопросы.....	13
6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию.....	13

## 1 Цели работы

- изучение моделей и технологий применяемых для построения оптических транспортных сетей;
- освоение методики расчёта необходимой ёмкости и типа транспортной сети типа OTN-OTN.

## 2 Краткие теоретические сведения

### 2.1 Транспортная сеть OTN-OTN

Модель транспортной сети OTN-OTN представлена двумя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень сети OTN и уровень пользователя.

Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней (рис.2.6): среды передачи сигналов с разделением по длине волны WDM; оптических секций ретрансляции OTS (Optical Transmission Section) и мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section); оптических каналов OCh (Optical Channel) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков OTUk (Optical Transport Unit k) с включением в них блоков данных оптических каналов ODUk (Optical Data Unit k), которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов OPUk (Optical Channel Payload Unit k). Индекс k соответствует иерархической ступени OTN ( $k=1,2,3,4$ ) и указывает на циклы различные по длительности и скорости передачи.

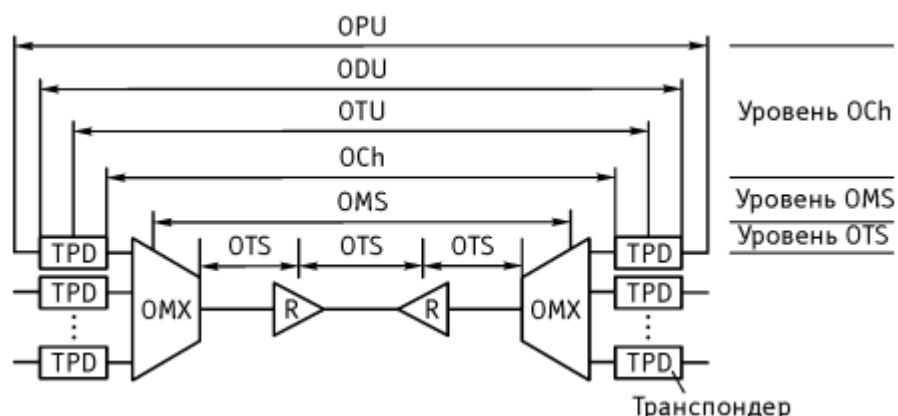


Рисунок 1 – Соединение в транспортной сети OTN

Оптические секции базируются на ресурсах одномодовых волоконных световодов со стандартными характеристиками и огром-

ной полосой частот передачи, которая достигает примерно от 30 до 60ТГц в диапазоне волн 1260-1675нм для различных типов волокон. Этот диапазон используется в режиме WDM. При этом число волновых каналов может реализовываться от 2-4 OCh до нескольких сотен OCh, объединяемых мультиплексорами (OMX) в оптические волновые (транспортные) модули OTM (Optical Transport Module) ёмкостью до 16 OCh в каждом. Т.о. среда передачи в этой модели транспортной сети позволяет достигать скоростей передачи порядка 10 Тбит/с и более при скорости передачи в каждом из волновых каналов от 2.5 до 40Гбит/с, а в перспективе 120Гбит/с (OTU4).

Оптические секции ретрансляции OTS организуются внутри оптической секции мультиплексирования OMS для компенсации потерь оптической мощности в стекловолокне и компенсации дисперсионных искажений. Эти функции обеспечивают линейные оптические примесные волоконные усилители с эквалайзерами (обозначено на Рисунке 1 R), рамановские оптические усилители и компенсаторы хроматической и поляризационной дисперсии, а в перспективе полностью оптические регенераторы 2R и 3R и волновые конверторы.

В оптической секции мультиплексирования формируются, передаются, обслуживаются и расформируются отдельные оптические каналы, оптические волновые модули OTM с числом каналов до 16 (называемые также оптическими транспортными модулями), группы оптических модулей. Каждый оптический модуль может иметь отдельный оптический сервисный канал, в который включаются служебные данные для каждого OCh. Кроме того, в секции оптического мультиплексирования создаётся сервисный оптический канал для обслуживания всей секции и отдельных участков – секций ретрансляции OTS. Секция OMS может иметь гарантированную защиту благодаря дублированию передачи в альтернативной кабельной линии с соответствующими секциями ретрансляции. Нормированное время защитного переключения составляет 50 мс.

Оптический канал OCh в оптической сети образуется транспондерными блоками (TPD) и выполняет функции регенерации цифрового сигнала типа 3R, т.е. восстанавливает амплитуду импульсов (1R), их форму (2R) и устраняет накопленные фазовые дрожания (3R) (Рисунок 2). Также производится оптическая модуляция и детектирование, контроль качества передачи цифровых

данных в блоках OTUk и ODUk, и т.д.

Уровень сети OTN может поддерживать полностью оптическую сеть с оптической коммутацией, маршрутизацией, конвертацией оптических волн и защитой соединений.

Уровень пользователя оптической транспортной сети OTN-OTN выполняет функции интерфейса между транспортной сетью и сетями пользователей транспортных услуг, к которым относятся сети SDH, ATM, Ethernet и др. Для эффективного согласования между сетями применяются различные протокольные решения по размещению данных пользователей в оптических каналах.

Это протоколы: общей процедуры формирования кадра GFP; протокол защищаемого пакетного кольца или пакетного кольца с самовосстановлением RPR (Resilient Packet Ring) и др. Протоколы позволяют согласовать циклическую передачу данных в оптических каналах со случайной во времени передачей пакетов данных различной емкости от пользователей, например, пакеты IP, MPLS или Ethernet.

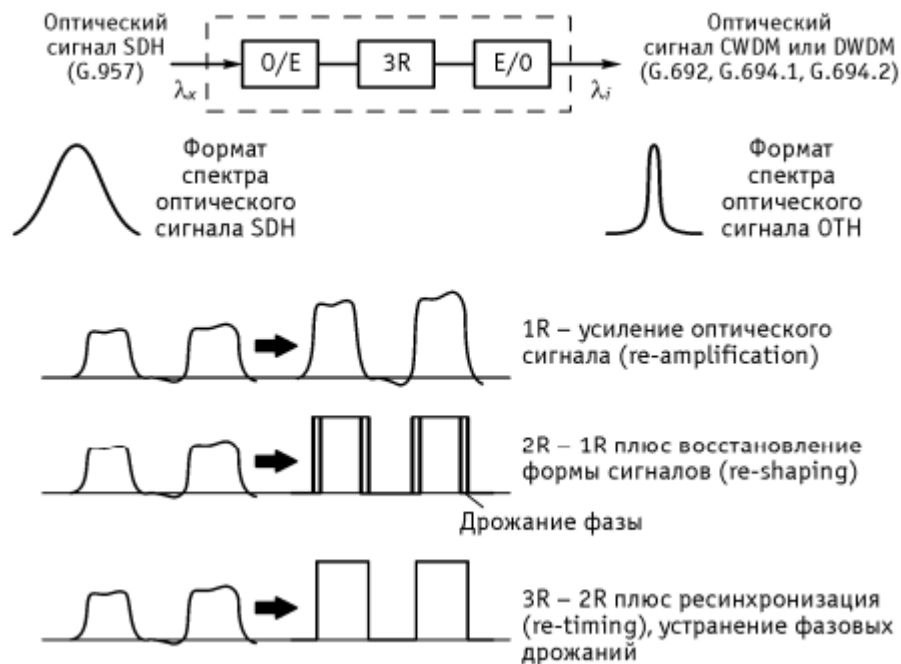


Рисунок 2 – Принцип 3R регенерации в транспондере

Если сравнить три рассмотренные модели транспортных сетей, то можно отметить, что наибольший транспортный ресурс может обеспечить только модель сети OTN-OTN. При этом она поддерживает трансляцию данных сетей SDH и ATM. Очевидно, что модель

сети OTN-OTN предназначена для глобального масштаба, т.е. магистральных сетей связи с большим объёмом трафика и для сетей связи крупных городов-мегаполисов с развитой телекоммуникационной инфраструктурой.

### 3 Транспортная сеть Ethernet

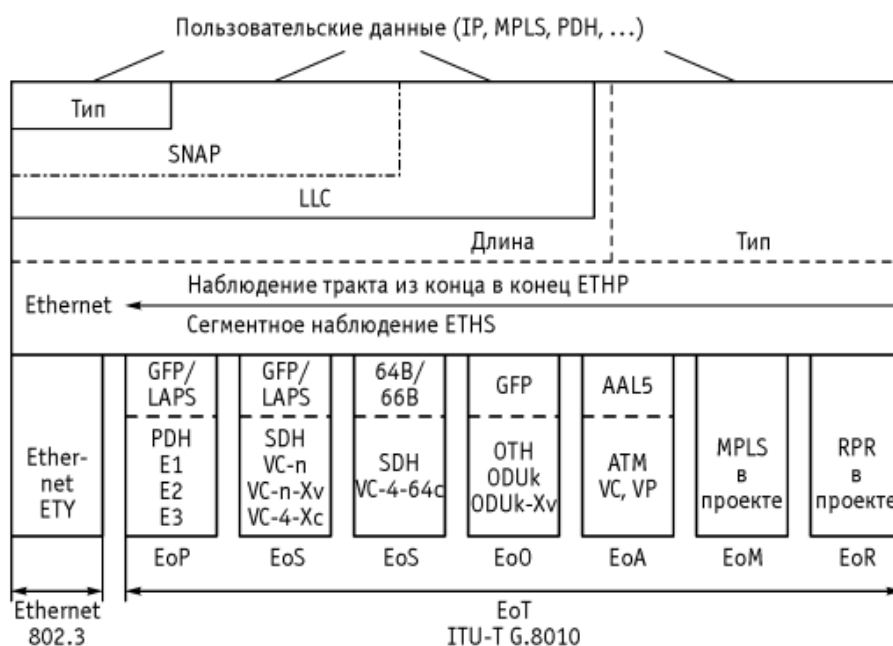
Среди моделей транспортных оптических сетей модель транспортной сети Ethernet самая последняя по стандартизации МСЭ-Т. Однако эта модель по своему происхождению намного старше по возрасту, ей более 30 лет. Она была разработана для взаимодействия по обмену файлами (пакетами или кадрами данных) между компьютерами в локальной сети при использовании медных проводов, конверторов сигналов и протокола передачи данных с контролем коллизий, т.е. состояний, когда по одной паре проводов одновременно начинали передачу два и более компьютеров. В таком качестве эти сети используются и сегодня на коротких дистанциях, как правило, не превышающих 100 или 200 метров. Появление быстродействующих пакетных коммутаторов и волоконной оптики позволило резко увеличить скорости передачи пакетов (от 10Мбит/с до 100, 1000Мбит/с, 10 и 100Гбит/с) и дистанцию передачи до десятков метров и до сотен километров. Модель транспортной сети Ethernet состоит из двух уровней: уровень среды передачи кадров Ethernet и уровень формирования кадров (пакетов) Ethernet.

*Уровень среды передачи Ethernet* может быть реализован на базе медных проводов, волоконных световодов, радиоканалов и атмосферных оптических каналов с использованием соответствующих конверторов сигналов (приёмопередатчиков), что характерно для локальных и городских сетей связи и это наиболее экономичное решение относительно других моделей транспортных сетей (Рисунок 3).

Кадры Ethernet EoT содержат сообщения о типе нагрузки, протокольные метки доступа в подсеть SNAP (Sub-Network Access Protocol), данные контроля логического канала LLC (Logical Link Control) с адаптированными пользовательскими сигналами, метками длины поля пользовательской нагрузки в кадре и типом кадра Ethernet. Транспортировка кадров Ethernet EoT может осуществляться с наблюдением транспортного тракта из конца в конец ETEP (Ethernet end-to-end path) и сегментным мониторингом ETHE (Segment monitoring). Большинство вариантов транспортировки (EoT)

уже стандартизированы для интерфейсов PDH, SDH, OTN, ATM (EoP, EoS, EoO, EoA). Однако перенос кадров Ethernet через сети с протоколами MPLS (EoM) и RPR (EoR) еще находятся в стадии разработки стандартов. При организации связи на большие расстояния (более 100км) уровень среды передачи может быть представлен транспортными сетями SDH, ATM и OTN. В этом случае решение по транспортной сети не отличается от других моделей дешёвой. В сети Ethernet поддерживается тактовый синхронизм. Также возможна реализация функций защитных переключений на резервный путь передачи за интервал времени до 50 мс.

Уровень формирования кадров (пакетов) Ethernet состоит из двух подуровней: управления логическим каналом LLC (Logical Link Control) и управления доступом к среде передачи MAC (Medium Access Control). Эти подуровни протокольные, т.е. их функции предписаны определенными алгоритмами для процессоров, которые формируют кадры с информационными данными и служебными сообщениями. Кадры с информационными данными создаются и отправляются случайно во времени, т.е. в зависимости от потока информационной нагрузки, или в потоковом режиме, когда нагрузка поступает непрерывно. Мультиплексирование кадров, управление их потоком, коммутация их в узлах, наблюдение соединений по потоку кадров из конца в конец или по участкам сети – всё это исполняет уровень формирования кадров. Также он обеспечивает интерфейс с источниками информационных данных (вторичными сетями, например, сетями IP, MPLS и т. д.).





### Рисунок 3 – Структуры интерфейсов транспортной сети Ethernet

Схемы мультиплексирования Ethernet различаются степенями мультиплексирования. Общая схема мультиплексирования представлена на Рисунке 4.

Одноступенчатая схема мультиплексирования кадра Ethernet предусматривает объединение до 4096 кадров Ethernet в общий логический путь транспортной сети. Для этого каждый мультиплексируемый кадр получает свою метку пользователя (C-Tag, Customer - Tag), содержащую идентификатор локальной сети, где находится пользователь.

Двухступенчатая схема мультиплексирования предполагает возможность объединения уже мультиплексированной нагрузки на первой ступени с метками C-Tag в количестве  $M$ , где число  $M$  однозначно не регламентировано. Также кадры Ethernet могут содержать метки провайдеров услуг (S-Tag, Service provider Tag). Такая двухступенчатая схема может обеспечить переход не только к виртуальным локальным сетям, но и создавать мосты между магистралями провайдеров услуг. Это функции сетей РВВ/РВТ [99].

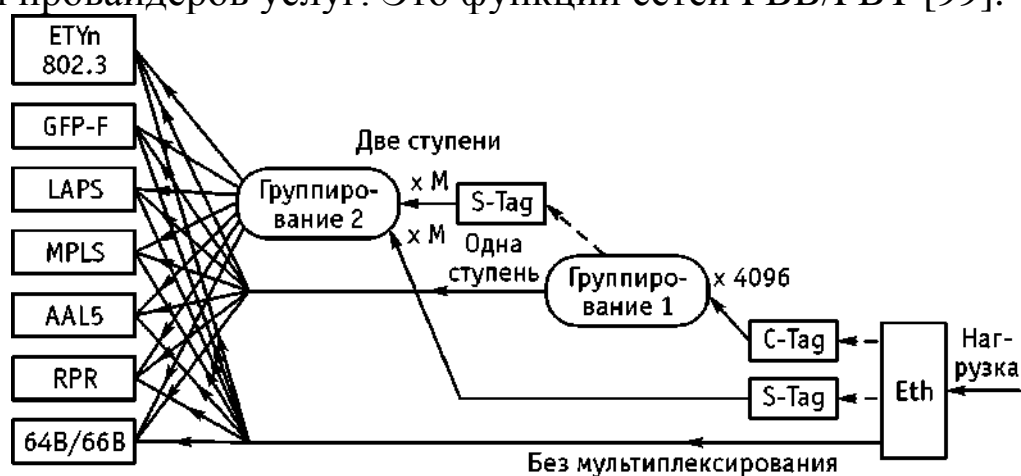


Рисунок 4 – Общая схема мультиплексирования Ethernet

Логическим и своеобразным конкурентным решением развитию модели транспортной сети Ethernet стала модель транспортной сети с пакетной передачей и коммутацией по меткам T-MPLS (Transport Multi Protocol Label Switching – транспортная многопротокольная коммутация по меткам). Решения по этой технологии представлены рядом рекомендаций МСЭ-Т: G.8110 – архитектура уровней сети MPLS; G.8110.1 – применение MPLS в транспортной сети; G.8112 – интерфейс между узлами сети MPLS; G.8121 –

функции оборудования MPLS; Y.1720 (G.8131) – защитные переключения в сети MPLS; Y.1711 – механизмы обслуживания и эксплуатации в сети MPLS.

Разработка этой модели нацелена на повышение эффективности использования ресурсов магистральных и внутризоновых оптических транспортных сетей с технологиями циклической цифровой передачи: PDH, SDH и OTN.

### 3.1 Отображение моделей и технологий транспортных сетей в оптических мультисервисных транспортных платформах

Современное развитие транспортных сетей связи происходит через интеграцию всех функциональных возможностей, заложенных в модели и технологии транспортных сетей, что привело к созданию универсальных мультисервисных транспортных платформ с электрическими и оптическими интерфейсами, электрической и оптической коммутацией каналов и пакетов. Это обеспечило предоставление любых видов транспортных услуг, включая услуги автоматически коммутируемых оптических сетей с сигнальными протоколами на основе общей многопротокольной коммутации по меткам GMPLS (Generalized Multi Protocol Label Switching).

Развитие широкополосных пакетно-ориентированных услуг и приложений стимулировало разработку новых сетевых решений, получивших название POT, Packet-Optical Transport.

На Рисунке 5 представлено отображение рассмотренных моделей и технологий мультиплексирования в общей архитектуре мультисервисной транспортной платформы MSTP (Multi-Service Transport Platform), где указаны возможные источники информационной нагрузки, протоколы согласования и сочетание транспортных технологий. Представление современных транспортных решений в виде платформы привело к созданию ещё одного класса оборудования – мультисервисных платформ предоставления услуг MSPP (Multi-Service Provisioning Platform) и коммутации MSSP (Multi-Service Switching Platform). Эти платформы являются ключевыми элементами транспортных сетей и представляют предмет изучения в учебном пособии. Обозначения источников информационной нагрузки на Рисунке 5:

- PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy – плезиохронная цифровая иерархия (иерархические скорости 2.048, 8.448, 34.368 и 139.264 Мбит/с);

- N-ISDN, Narrowband Integrated Services Digital Network – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (У-ЦСИС);
  - IPX, Internet Packet eXchange – межсетевой обмен пакетами;
  - SANs, Storage Area Networks – сети хранения данных (серверы услуг, базы данных);
  - iSCSI, internet Small Computer System Interface – протокол для установления взаимодействия и управления системами хранения данных, серверами и клиентами;
  - HDTV, High-definition television – цифровое телевидение высокой четкости;
  - ESCON, Enterprise Systems Connection – соединение учреждений систем (с базами данных, серверами);
  - FICON, Fiber CONnection – волоконное соединение для передачи данных;
  - PPP, Point-to-Point Protocol – протокол «точка-точка»;
- HDLC, High-level Data Link Control – высокоуровневый протокол управления на уровне звена передачи данных.

Протоколы PPP, RPR, HDLC, GFP в транспортных сетях выполняют функции согласования информационных данных от источников нагрузки с транспортными структурами с целью повышения эффективности использования ресурсов этих структур, например, виртуальных контейнеров в сети SDN или оптических каналов в сети OTN, или физических ресурсов кадров передачи сети Ethernet.

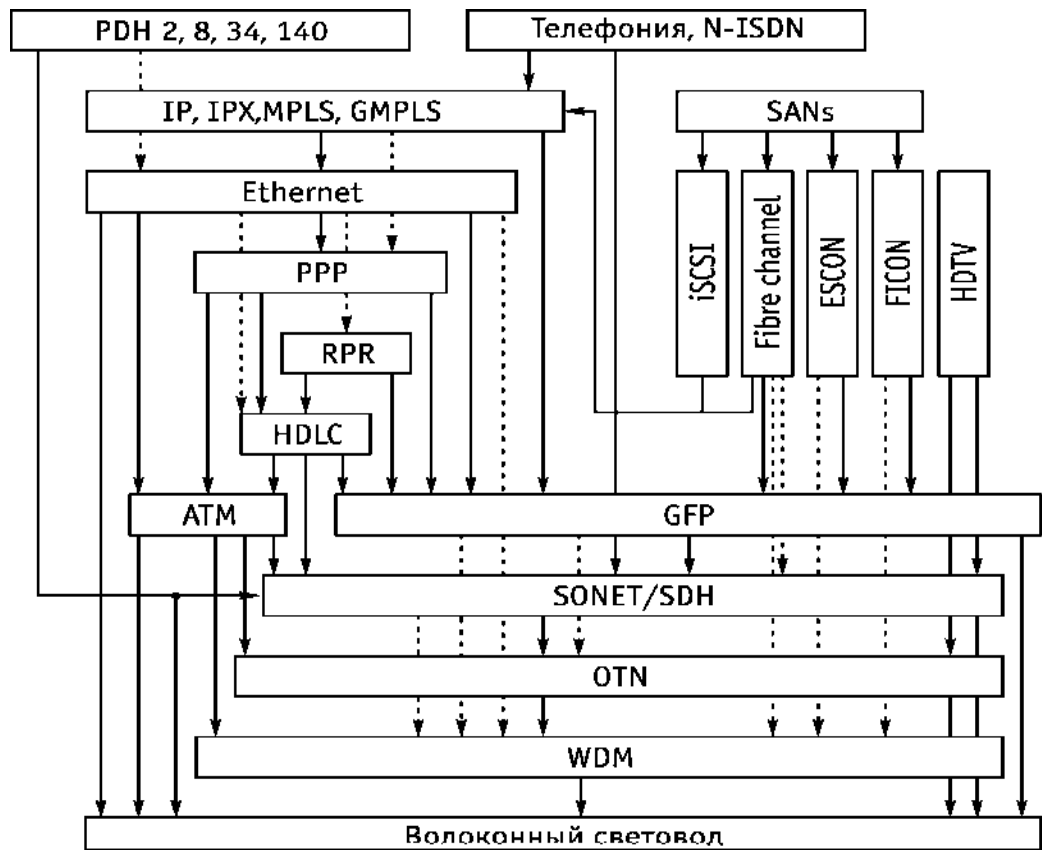


Рисунок 5 – Обобщенная архитектура оптической мультисервисной транспортной платформы

#### 4 Задание на практическую работу

Определить пропускную способность транспортной сети OTN-OTN исходя из данных таблицы 1 и вышеизложенного материала

Таблица 1 – Варианты заданий на практическую работу

Номер варианта	Пропускная способность каждого ОСН, Гбит/с	Кол-во ОСН
1	2,5	2
2	16	4
3	6	6
4	8	8
5	11	10
6	5	12
7	7,5	14
8	10	16
9	15	4

10	25	8
----	----	---

## 5 Контрольные вопросы

1. Сколько и какие уровни имеет модель сети OTN-OTN?
2. Какие функции определены уровню пользователя в модели сети OTN?
3. Какие функции определены уровню оптического канала в модели сети OTN?
4. Почему стандарт локальной компьютерной сети Ethernet стал основой стандарта транспортной сети?
5. Сколько и какие уровни имеет модель сети Ethernet?
6. Какие функции выполняет уровень среды передачи сети Ethernet?
7. Какие функции выполняет уровень формирования кадров сети Ethernet?
8. Что может входить в оптическую мультисервисную транспортную платформу?
9. Какие функции выполняют протоколы PPP, RPR, HDLC, GFP в транспортной сети?

## 6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию

- 1) Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. -М.: Эко-Трендз, 2008.- 288с.
- 2) Фокин В.Г. Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети: учебное пособие/ 2009 г. - 205с.
- 3) Provider Backbone Bridges bring massive service scalability to Ethernet// White Paper. Nortel. - 6 pp. ([www.nortel.com](http://www.nortel.com)).