

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

В. Ю. Бунас, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов

***ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ***

*Рекомендовано УМО по образованию
в области информатики и радиоэлектроники
для специальности 1-45 01 01 «Инфокоммуникационные
технологии (по направлениям)»
в качестве учебно-методического пособия*

Минск БГУИР 2013

УДК 621.395.52(076.6)

ББК 32.883я73

Б91

Рецензенты:

кафедра связи учреждения образования
«Военная академия Республики Беларусь» (протокол №66 от 13.05.2013);

заведующий кафедрой телекоммуникационных систем
учреждения образования «Высший государственный колледж связи»,
кандидат технических наук, доцент К. И. Пирогов

Бунас, В. Ю.
Б91 Технологии транспортных сетей телекоммуникаций : учеб.-метод.
пособие / В. Ю. Бунас, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов. – Минск : БГУИР,
2013. – 63 с. : ил.
ISBN 978-985-488-993-1.

В учебно-методическом пособии дано определение телекоммуникационной системы и ее составляющей – транспортной телекоммуникационной сети. Рассмотрена функциональная архитектура транспортной сети в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т. Анализируются с позиций модели транспортной сети основные телекоммуникационные технологии, применяемые в современных транспортных телекоммуникационных сетях.

Предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Проектирование цифровых систем и транспортных сетей телекоммуникаций». Может быть использовано при дипломном проектировании.

УДК 621.395.52(076.6)
ББК 32.883я73

ISBN 978-985-488-993-1

© Бунас В. Ю., Тарченко Н. В.,
Урядов В. Н., 2013
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень принятых сокращений.....	4
1 ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	7
1.1 Определение и свойства телекоммуникационной системы	7
1.2 Модель взаимодействия открытых систем	8
2 ПОНЯТИЕ «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ».....	12
3 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ.....	13
3.1 Уровневая структура транспортной сети.....	13
3.2 Распределение обработки между элементарными функциями	16
3.2.1 Функция соединения	16
3.2.2 Функция завершения трассы	16
3.2.3 Функция адаптации	18
4 ПЕРЕДАЧА ETHERNET ПОВЕРХ PDH.....	21
5 ТЕХНОЛОГИЯ SDH КАК ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ ДЛЯ ТРАФИКА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ.....	23
5.1 Уровневая модель технологии SDH.....	23
5.2 Протокол HDLC	31
5.3 Point-to-Point протокол.....	34
5.4 Передача пакетного трафика по сетям SDH	37
5.5 Протокол GFP.....	38
5.6 Управление пропускной способностью канала.....	45
6 ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ OTN.....	45
6.1 Транспортные решения OTN/OTN.....	45
6.2 Протоколы OTN/OTN	48
7 ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ ETHERNET	53
8 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ.....	58
Контрольные вопросы	60
Литература	62

Перечень принятых сокращений

AIS	Alarm Indication Signal	Сигнал индикации аварийного состояния
AP	Access Point	Точка доступа
API	Access Point Identifier	Идентификатор точки доступа
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Асинхронный режим переноса
AU-n	Administrative Unit	Административный блок
BER	Bit Error Ratio	Коэффициент ошибок по битам
BIP	Bit Interleaved Parity	
C	Connection function	Функции соединения
CBR	Constant Bit Rate	Трафик с постоянной битовой скоростью
CP	Connection Point	Точка соединения
CRC-n	Cyclic Redundancy Check	Циклический избыточный код
DSL	Digital Subscriber Line	Цифровая абонентская линия
EMF	Equipment Management Function	Функция управления оборудованием
EoSDH	Ethernet over SDH	Ethernet поверх SDH
ETH	Ethernet	
FAS	Frame Alignment Signal	Сигнал кадровой (цикловой) синхронизации
FEC	Forward Error Correction	Предварительная коррекция ошибок
FCS	Frame Check Sequence	Проверочная последовательность кадра
FDDI	Fiber Distributed Data Interface	Распределенный интерфейс передачи данных по волоконно-оптическому кабелю
GFP	Generic Framing Procedure	Общая процедура формирования кадров
HDLC	High-Level Data Link Control	Высокоуровневое управление каналом передачи данных
HEC	Header Error Check	Обнаружение ошибок в заголовке
IP	Internet Protocol	Протокол межсетевого взаимодействия
IPX	Internetwork Packet Exchange	Протокол межсетевого обмена
ISDN	Integrated Services Data Network	Цифровая сеть с интеграцией служб
ISO	International Organization for Standardization	Международная организация по стандартизации
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication Sector	Международный союз электросвязи – сектор телекоммуникаций

LAN	Local Area Network	Локальная сеть
LAP	Link Access Protocol	протокола доступа к каналу
LAPS	Link Access Protocol to SDH	протокола доступа к каналу SDH
LLC	Logical Link Control	Управление логическим каналом
LCAS	Link Capacity Adjustment Scheme	Схема динамического изменения пропускной способности линии
LCP	Link Control Protocol	Протокол контроля канала
LOF	Loss Of Frame	Потеря цикловой (кадровой) синхронизации
LOM	Loss Of Multiframe	Потеря сверхцикловой синхронизации
LOP	Loss Of Pointer	Потеря указателя
LOS	Loss Of Signal	Потеря сигнала
MAC	Medium Access Control	Управление доступом к среде передачи
MI	Management Information	Информация управления
MPLS	Multi-Protocol Label Switching	Многопротокольная коммутация по меткам
NCP	Network Control Protocol	Протокол контроля сети
OAM	Operations, Administration and Maintenance	Эксплуатация, администрирование и техническое обслуживание
OCh	OTN optical Channel	Оптический канал OTN
ODI	Outgoing Defect Indication	Индикация исходящего дефекта
ODU	OTN optical channel Data Unit	Блок данных оптического канала
OH	Overhead	Заголовок
OMSn	OTN optical Multiplex Section	Оптическая мультиплексорная секция OTN
OPUk	Optical channel Payload Unit-k	Блок полезной нагрузки оптического канала
OS	Optical Section	Оптическая секция
OSI	Open System Interconnection	Модель взаимодействия открытых систем
OTH	Optical Transport Hierarchy	Оптическая транспортная иерархия
OTM	Optical Transport Module	Оптический транспортный модуль
OTN	Optical Transport Network	Оптическая транспортная сеть
OTSn	OTN optical Transmission Section	
OTU	OTN optical channel Transport Unit	Транспортный блок оптического канала
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	Плезиохронная цифровая иерархия
PDU	Protocol Data Unit	Протокольный блок данных

PFI	Payload FCS Indicator	Индикатор наличия контрольной суммы
PLI	Payload Length Indicator	Индикатор размера поля нагрузки
POH	Path Overhead	Маршрутный заголовок
PPP	Point-to-Point Protocol	Протокол соединения точка-точка
PTI	Payload Type Identifier	Идентификатор типа нагрузки
PTR	Pointer	Указатель
RDI	Remote Defect Indication	Индикация удаленного дефекта
REI	Remote Error Indication	Индикация удаленной ошибки
RIP	Routing Information Protocol	Протокол маршрутной информации
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Синхронная цифровая иерархия
STM	Synchronous Transport Module	Синхронный транспортный модуль
TDM	Time Division Multiplexing	Временное разделение каналов
TS	Time Slot	Временной интервал
TTI	Trail Trace Identifier	Идентификатор маршрута передачи на трассе
UPI	User Payload Identifier	Идентификатор поля нагрузки
VCAT	Virtual Concatenation	Виртуальная конкатенация
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Мультиплексирование по длине волны (спектральное разделение каналов)

1 ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

1.1 Определение и свойства телекоммуникационной системы

Телекоммуникационная система (ТС) – это совокупность аппаратно и программно совместимого оборудования, соединенного в единую систему с целью обмена информацией в виде электрических сигналов между потребителями. ТС способны передавать текстовую, графическую, речевую или видеoinформацию. Для ТС характерны следующие свойства:

1 Являются информационными системами. Смысл функционирования этих систем – транспортировка (перенос) информации.

2 Состоят из двух основных подсистем: технической и пользовательской. Взаимодействие этих подсистем определяет структуру и функции телекоммуникационной системы.

3 Содержат большое количество компонентов, многие из которых в свою очередь являются большими системами или многофункциональными устройствами. Компоненты телекоммуникационной системы имеют различное устройство и выполняют разнообразные функции.

4 Являются многосвязными: их компоненты соединены между собой и имеют как прямые, так и обратные связи. Структура и топология ТС переменны, управляемы, зависят от пользователей.

5 Являются крупномасштабными системами, охватывающими крупные территории и интегрирующимися в мировую систему телекоммуникаций. Телекоммуникационные системы взаимно проникающие. Процессы в телекоммуникационных системах могут проходить с различными скоростями.

6 Являются пространственно распределенными и содержат как дискретные, так и непрерывные (пространственно-протяженные) компоненты. Элементы системы могут быть стационарными (статическими) или движущимися (динамическими). Такая природа телекоммуникационных систем порождает особую специфику происходящих в них процессов.

7 Являются немарковскими с точки зрения протекающих в них процессов. Это означает, что поведение системы определяется не только текущим состоянием, но и предысторией, причем довольно длительной, а также скрытыми возможностями, включающимися спонтанно в определенных условиях.

8 Являются нелинейными, т. к. обладают нелинейной зависимостью:

– между различными видами оборудования в системе (техническая нелинейность);

– между нагрузкой, создаваемой абонентами системы, и пропускной способностью системы (абонентская нагрузка зависит от ситуации, пропускная способность определяется инженерными решениями).

9 Являются синергетичными, т. е. самоорганизуются и склонны к самостоятельному автономному поведению, обладают способностями к самосохранению и противодействию внешним воздействиям, устранению произошедших изменений внутренними средствами (в определенных пределах), а также функциональной инертностью.

10 Находятся в непрерывном развитии.

11 Являются наукоемкими и базируются на перспективных технических разработках.

1.2 Модель взаимодействия открытых систем

Для описания технической составляющей ТС используют эталонную модель взаимодействия открытых систем OSI (Open System Interconnection), созданную в 1984 году Международной Организацией по стандартизации (ISO). Модель взаимодействия открытых систем применима как к компьютерным, так и к телекоммуникационным системам.

Эталонная модель OSI позволяет представить передачу информации в ТС в виде совокупности относительно автономных задач (т. е. использовать метод декомпозиции). Модель имеет семь уровней. Каждый из уровней имеет стандартное название и реализует одну или несколько функций в рамках определенных логических границ. Модель OSI описывает прохождение информации по сети от одного оконечного устройства к другому. При этом информация проходит все уровни системы соответственно сверху вниз и снизу вверх. В реальности несколько уровней модели могут отсутствовать, но идеология прохождения информации остается неизменной. Каждый уровень предоставляет свои функции (таблица 1.1) более высокому уровню в сочетании с функциями, которые ему предоставил более низкий уровень.

В современных телекоммуникационных системах в качестве оконечных устройств обычно применяются компьютеры или многофункциональные терминальные устройства, созданные на базе компьютеров.

Каждый из уровней эталонной модели выполняет определенные функции.

Прикладной уровень (Application layer) отвечает за инициализацию и завершение сеансов связи, распределение программных и аппаратных средств для

реализации процесса. Иногда этот уровень называют уровнем управления процессами. Оконечное устройство в зависимости от назначения и может осуществлять реализацию нескольких прикладных процессов, и пользователь может воспользоваться любым из протоколов.

Таблица 1.1 – Уровневая модель OSI

Тип данных	Уровень (layer)	Функции
Данные	7 Прикладной (application)	Доступ к сетевым службам
	6 Представительский (presentation)	Представление и шифрование данных
	5 Сеансовый (session)	Управление сеансом связи
Сегменты	4 Транспортный (transport)	Прямая связь между конечными пунктами и надежность
Пакеты	3 Сетевой (network)	Определение маршрута и логическая адресация
Кадры	2 Канальный (data link)	Физическая адресация
Биты	1 Физический (physical)	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данным

Представительский уровень (Presentation layer) обеспечивает работу прикладного уровня, структурирует данные, осуществляет преобразование символьных потоков, засекречивание и рассекречивание информации, а также необходимые преобразования данных для их отображения.

Сеансовый уровень (Session layer) создает стандарт сеанса и контролирует его соблюдение. На этом уровне регламентируются правила ведения диалога. В случае прерывания сеанса обеспечивается его восстановление или извещение о невозможности дальнейшей работы.

Транспортный уровень (Transport layer) обеспечивает управление транспортировкой сообщения, в частности, контролирует целостность сообщений, оптимизацию использования средств связи, выбор вида и качества обслуживания процесса. На этом уровне выбирается тип коммутации (каналов, сообщений, пакетов и т. д.), формируется стандартное транспортное сообщение из входных данных, проводится формирование начала и конца транспортируемых единиц данных.

Эти четыре уровня эталонной модели OSI определяют и реализуют процессы взаимодействия пользователей, поэтому их иногда называют подсистемой пользователя.

Три нижних уровня определяют работу непосредственно сети связи при обслуживании пользователей. Поэтому их называют подсистемой сети.

Сетевой уровень (Network layer) реализует доставку данных между любыми узлами сети. На этом уровне организуются физические и виртуальные каналы, формируются дейтаграммы, осуществляется маршрутизация данных. Этот уровень отвечает за правильность сборки сообщения из пакетов. Наиболее распространенными протоколами сетевого уровня являются IP/IPv4/IPv6 (Internet Protocol), IPX (Internetwork Packet Exchange, протокол межсетевых обменов), X.25 (частично этот протокол реализован на уровне 2) и т. д., а также протоколы маршрутизации: RIP (Routing Information Protocol), OSPF (Open Shortest Path First).

Канальный уровень (Data Link layer) определяет правила передачи модуля данных по физическому каналу связи. Этот уровень отвечает за обнаружение и исправление ошибок, возникающих из-за помех и искажений в канале связи, формирование сообщений вышестоящему уровню о неустранимых ошибках, слежение за скоростью обмена. Наибольшее распространение получили следующие протоколы канального уровня: ARCnet, ATM, Eiconet, Ethernet, Fiber Distributed Data Interface (FDDI), Frame Relay, High-Level Data Link Control (HDLC), IEEE 802.2 (provides LLC functions to IEEE 802 MAC layers), Link Access Procedures, D channel (LAPD), IEEE 802.11 wireless LAN, Multiprotocol Label Switching (MPLS), Point-to-Point Protocol (PPP), Point-to-Point Protocol over Ethernet (PPPoE), Token Ring, X.25 и т. д.

Физический уровень (Physical layer) управляет средствами организации физического соединения, идентифицирует каналы, обнаруживает повреждения канала и передает информацию объектам канального уровня. Следует заметить, что физический уровень ограничивается процессами и механизмами, необходимыми для передачи сигналов по направляющей системе и их приема. Протоколы физического уровня: RS-232, RS-449, RS-485, DSL, ISDN, PDH, SDH, 802.11 Wi-Fi, Etherloop, GSM Um radio interface, и т. д.

В модели OSI одинаковые уровни различных систем сообщаются между собой посредством протоколов. Однако эти уровни различных систем не связываются между собой непосредственно, а только через физический уровень, что обеспечивает полную совместимость любых систем различного типа.

Эталонная модель OSI использует концепцию *инкапсуляции*, смысл которой в следующем. Информация, полученная текущим уровнем от вышестоящего, имеет определенную форму. Текущий уровень добавляет к ней информацию, предназначенную для равного ему уровня в следующем устройстве, и заключает все это в свою оболочку. Затем вся эта информация передается нижележащему уровню, который не обрабатывает сигнал вышележащего.

В некоторых случаях на транспортном уровне (4-й уровень модели OSI) приходится разбивать данные вышележащего уровня на несколько сегментов, при этом каждому сегменту присваивается свой номер, чтобы в приемном устройстве можно было правильно восстановить информацию.

На уровнях системы используются различные форматы передачи информации. Как правило, это модули данных, сообщения, сегменты, пакеты, дейтаграммы, кадры и ячейки. С точки зрения передачи данных в эталонной модели OSI они обозначают (см. таблицу 1.1):

- *модуль данных (data unit)* – базовый термин, обозначающий различные блоки информации;
- *сообщение (message)* – модуль данных, который передается на уровнях выше сетевого;
- *сегмент (segment)* – модуль данных, который передается на транспортном уровне;
- *пакет (packet)* – модуль данных, который передается на сетевом уровне, состоит из заголовка сетевого уровня и информации верхнего уровня;
- *дейтаграмма (datagram)* – модуль данных, который передается на сетевом уровне с помощью сетевой службы, не требующей подтверждения соединения;
- *кадр (frame)* – модуль данных, передаваемый на канальном уровне и состоящий из информации верхнего уровня и заголовка канального уровня, который может размещаться как в начале, так и в конце информации верхнего уровня;
- *ячейка (cell)* – модуль данных фиксированного размера (53 байта), который передается на канальном уровне, состоит из заголовка длиной 5 байт и блока данных, инкапсулированных с вышестоящего уровня, длиной 48 байт.

Модель OSI создала методологическую основу построения унифицированных телекоммуникационных сетей и стала базой для объединения всего многообразия выпускаемых программно-аппаратных средств.

2 ПОНЯТИЕ «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ»

В настоящее время интенсивного развития инфокоммуникационных технологий, расширения спектра предоставляемых пользователям услуг с гарантированными характеристиками качества меняются архитектура и функциональное построение телекоммуникационных систем и сетей. В частности, сформировался еще один критерий, в соответствии с которым осуществляется классификация сетей телекоммуникаций, – функциональный. В соответствии с этим критерием сети делят на транспортные и сети доступа.

Транспортная сеть – та часть сети, которая выполняет функции прозрачной транспортировки (переноса) всех видов сообщений от источников из одной сети доступа к получателям сообщений в другой сети доступа. Транспортная сеть включает не только системы передачи, но и относящиеся к ним средства контроля, оперативного переключения, резервирования, управления.

Сеть **доступа** – это та часть сети, которая связывает источник (приемник) сообщений с узлом доступа, являющимся граничным между сетью доступа и транспортной сетью. Наряду с передачей пользовательской информации обеспечивает управление передачей и коммутацией (сигнализация, управление, маршрутизация вызовов).

Другими словами, транспортная сеть – это сеть, основной задачей которой является осуществление транспортной функции, т. е. доставка информации по назначению, а именно: от порта одной сети доступа к порту другой сети доступа.

В развитии транспортных сетей можно отметить следующие характерные особенности [2]:

- постоянный рост пропускной способности, связанный с увеличением объема передаваемого трафика;
- все более широкое использование технологий пакетной коммутации, поддерживающих передачу всех видов трафика с заданными параметрами качества;
- управление полосой пропускания для каждого соединения при достаточно редких запланированных изменениях;
- полная прозрачность для передаваемого трафика (данные не изменяются, не анализируется их содержание, данные одного пользователя изолированы от данных другого, сохраняется их исходное упорядочение);

– быстрое реагирование на аварийные ситуации и восстановление своей работоспособности за несколько десятков миллисекунд.

Традиционно для организации транспортных сетей использовались системы передачи плезиохронной (PDH) и синхронной (SDH) цифровых иерархий, которые работают на физическом уровне модели взаимодействия открытых систем (OSI) и используют синхронный режим переноса, в частности, временное разделение каналов для передачи информации (TDM).

Переход к технологиям пакетной коммутации увеличивает роль канального уровня в передаче информации в пределах транспортных сетей.

МСЭ-Т разрабатывает и совершенствует стандарты на передачу информации. Одним из направлений деятельности МСЭ-Т стало принятие концепции построения транспортных сетей, опубликованной в виде Рекомендации G.805, и разработки моделей транспортных сетей, базирующихся на волоконно-оптических системах передачи. В большом пакете Рекомендаций МСЭ-Т серий G, Y, I, X приводится описание:

- моделей транспортных сетей;
- технологических схем мультиплексирования;
- интерфейсов, оборудования, управления, синхронизации и т. д.

Эти рекомендации используются производителями оборудования и сетевыми операторами при проектировании, запуске и эксплуатации транспортных сетей.

3 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

3.1 Уровневая структура транспортной сети

Так как транспортная сеть – это сложная система, выполняющая функции передачи информации, контроля, обслуживания и управления, то для ее описания используют функциональные модели.

В свою очередь транспортная модель сети основана на концепциях иерархического представления сети в виде слоев и разделения сети каждого слоя на части. В частности, в Рекомендации МСЭ-Т G.805 предлагается архитектура транспортной сети, приведенная на рисунке 3.1.

Для концепции иерархического представления транспортной сети в виде слоев характерно следующее:

- сеть каждого слоя выполняет аналогичные функции;
- каждый сетевой слой может представлять отдельную сеть;

- модель сети в виде слоев позволяет определить управляемые объекты для создания сети управления;
- сеть каждого слоя может иметь собственные операционные процедуры обслуживания, такие, как переключение на защиту, автоматическое восстановление после сбоев или отказов и др.;
- возможно добавление или замена слоя без воздействия на другие слои в отношении архитектуры;
- каждый слой сети может быть определен независимо от других слоев.



Рисунок 3.1 – Уровневое представление транспортной сети

При использовании различных телекоммуникационных технологий модели транспортных сетей имеют общие моменты:

- иерархическое уровневое построение, когда каждый слой имеет самостоятельный и независимый от других слоев набор функций;
- наличие физического уровня, который организуется на базе систем передачи и соответствующих секций передачи;
- организация физических или виртуальных трактов;
- наличие уровня взаимодействия с пользователем транспортной сети.

Такое уровневое построение дает четкое представление об аппаратных, алгоритмических, сетевых возможностях при передаче информации в транспортной сети при использовании той или иной технологии. При этом между уровнями сети отношения организуются по схеме клиент-сервер, когда вышележащий слой поручает нижележащему выполнение определенных функций по транспортировке информации.

Работа функций транспортной обработки внутри элементов сети представляется при помощи элементарных функций для каждого слоя транспортной сети и набора правил объединения этих функций. Базовый набор элементарных функций некоторого уровня показан на рисунке 3.2 и состоит из:

- функции завершения трассы;
- функции адаптации;
- функций соединения.

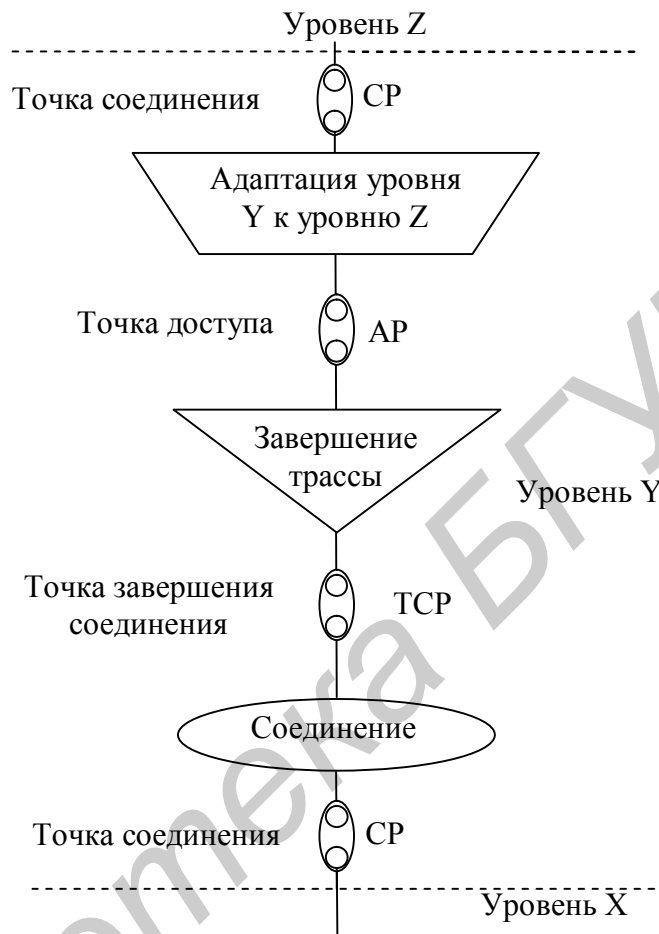


Рисунок 3.2 – Элементарные функции и опорные точки слоя транспортной сети

Элементарная функция описывается процессами, выполняемыми функцией, ее опорными точками и информационным потоком, проходящим через эти опорные точки.

Внутри элемента сети функции транспортной обработки могут взаимодействовать с функциями управления оборудованием (EMF) для выполнения действий по коррекции неисправностей, качественных параметров или изменения конфигурации.

Элементарные функции определяются между фиксированными опорными точками, в которых имеется информация определенного типа. В функциональной модели есть опорные точки для:

- сигналов передачи;
- управленческой информации;
- опорных сигналов синхронизации;
- дистанционной информации.

3.2 Распределение обработки между элементарными функциями

3.2.1 Функция соединения

Функция соединения обеспечивает гибкость в пределах одного уровня. Она может использоваться оператором сети для выполнения маршрутизации, группирования, резервирования и восстановления.

Транспортная модель описывает функцию соединения как пространственный коммутатор, который устанавливает соединения между своими входами и выходами. Соединения могут быть установлены или отключены по командам управления, поступающим через интерфейс MI, и/или в соответствии с состоянием пропадания/ухудшения самого входящего сигнала (например переключение на резерв).

Гибкость выполнения функции соединения моделируется в виде синхронного прозрачного коммутатора, называемого также «пространственным коммутатором». В случае мультиплексирования с разделением по времени матрица переключений может быть либо типа «пространственный коммутатор», либо комбинацией «пространственный и временной коммутаторы».

3.2.2 Функция завершения трассы

Функция завершения трассы контролирует целостность сигнала соответствующего слоя. Она выполняет:

- контроль соединения;
- контроль непрерывности;
- контроль качества сигнала;
- обработку информации технического обслуживания (реверсивные указания).

В направлении источника она создает и добавляет следующие сигналы (или их часть):

- код обнаружения ошибки или указание об ошибке (например, паритет чередующихся битов (VIP), циклическая проверка избыточности (CRC), число ошибок во входном сигнале);

– идентификатор трассы (т. е. адрес источника).

Функция завершения трассы передает в обратном направлении следующую дистанционную информацию:

– сигнал индикации удаленной ошибки (например REI, OEI, E-бит), содержащий сведения о числе обнаруженных нарушений кода обнаружения ошибки в принятом сигнале;

– сигнал индикации удаленного дефекта (например RDI, ODI, A-бит), указывающий статус дефекта в принятом сигнале.

В направлении приемника данная функция контролирует следующие параметры (или некоторые из них):

– качество сигнала (например ошибки по битам);

– (неправильное) соединение;

– параметры качества ближнего конца;

– параметры качества удаленного конца;

– пропадание сигнала сервера (т. е. вместо данных передается сигнал индикации аварийного состояния (AIS));

– потеря сигнала (разъединение, незадействованный сигнал).

Ошибки по битам могут быть обнаружены на основе встроенных процедур мониторинга VIP-н или CRC-н, т. е. нарушения кода обнаружения ошибки.

Для контроля обеспечения гибкости работы сети определяются точки доступа (AP). Идентификатор точки доступа (API) вводится в идентификатор трассы (TPI) сигнала при помощи функции источника завершения трассы. Функция приемника завершения трассы сравнивает принятое значение API с ожидаемым значением (указанным администратором сети).

Для выполнения технического обслуживания сведения о дефекте и о числе обнаруженных на приемнике завершения трассы нарушений кода обнаружения ошибки передаются обратно на источник завершения трассы: сведения о дефекте – в сигнале дистанционного сообщения о дефекте (RDI), а сведения о числе нарушений кода обнаружения ошибки – в сигнале дистанционного сообщения об ошибке (REI). Сигналы RDI и REI входят в состав заголовка трассы.

Ухудшение сигнала приводит к обнаружению аномалий и дефектов. При обнаружении каких-либо дефектов на ближнем конце сигнал заменяется сигналом «все единицы» (AIS), а в обратном направлении передается RDI. О дефектах сообщается в функцию обработки ошибок.

3.2.3 Функция адаптации

Функция адаптации выполняет преобразование между уровнем сервера и уровнем клиента и может содержать следующие процессы:

- скремблирование/дескремблирование;
- кодирование/декодирование;
- выравнивание (деление на кадры, интерпретация указателя, создание FAS/PTR);
- адаптацию битовой скорости;
- регулировку частоты;
- доступ/выделение временных слотов/длин волн;
- мультиплексирование/демультиплексирование;
- восстановление синхронизации;
- сглаживание;
- определение типа нагрузки;
- выбор структуры нагрузки.

Уровень сервера может параллельно транспортировать несколько сигналов уровня клиента (например, n сигналов VC-4 в сигнале STM-n), что называется мультиплексированием (рисунок 3.3). Эти сигналы уровня клиента могут быть сигналами различных уровней сети (например, смесь сигналов VC-11/12/2/3 внутри VC-4, DCCM, EOW, несколько VC-4 в секции мультиплексирования STM-N). В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.805 в функциональной модели такое положение дел описывается одной функцией адаптации, включающей конкретные процессы для каждого сигнала уровня клиента [11].

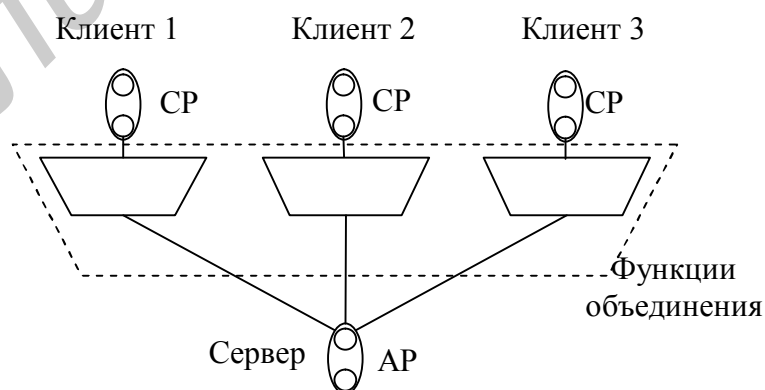


Рисунок 3.3 – Функции объединения

Сигнал уровня клиента может быть распределен при помощи нескольких сигналов уровня сервера, что называется обратным мультиплексированием и выполняется при помощи создания уровня обратного мультиплексирования с функцией адаптации для набора уровней сервера, как показано на рисунке 3.4.

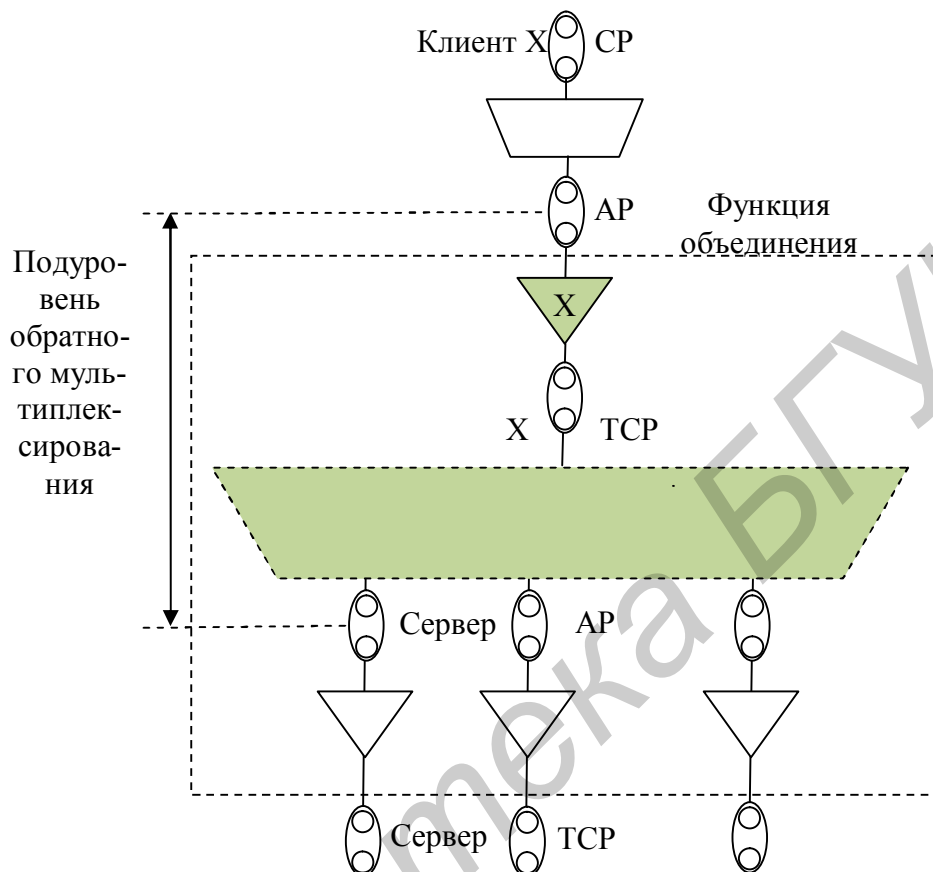


Рисунок 3.4 – Обратное мультиплексирование

Процесс **скремблирования** известным способом изменяет цифровой сигнал для формирования достаточной плотности переходов $0 \rightarrow 1$ и $1 \rightarrow 0$, позволяющей восстановить тактовую синхронизацию. Процесс **дескремблирования** восстанавливает исходные цифровые данные из скремблированного потока данных.

Процесс **кодирования/декодирования** адаптирует цифровой сигнал к характеристикам физической среды, по которой он будет передаваться. Процесс декодирования восстанавливает исходный цифровой сигнал.

Процесс **выравнивания** определяет первый бит/байт сигнала, разделенного на кадры (начало кадра (FS)), отыскивая сигнал начала кадров (FAS) или указатель (PTR). Если в течение определенного периода сигнал FAS не обнаружен или PTR поврежден, то определяется дефект выравнивания (LOF, LOP).

Дефект выравнивания может быть результатом приема сигнала «все единицы» (AIS). В таком случае определяется также дефект AIS. Об этих дефектах сообщается в процедуру/на уровень исправления ошибок.

Процесс *адаптации скорости* принимает входную информацию с определенной скоростью и формирует на выходе ту же самую информацию с иной скоростью. В направлении источника этот процесс создает пропуски, в которые другие функции могут добавлять свои сигналы.

Например, сигнал со скоростью 2 Мбит/с, поступающий на вход этой функции, появляется на ее выходе с более высокой скоростью. Полученные разрывы заполняются сигналом VC-12 POH.

Процесс *регулировки частоты* принимает входную информацию с определенной частотой и выдает на выходе ту же самую информацию либо с той же самой, либо с иной частотой. В направлении источника, для того чтобы обеспечить возможность создания любых различий по частоте (и/или фазе) между входными и выходными сигналами, этот процесс может записывать данные в особый бит/байт «регулировки» в структуре исходящего кадра, когда гибкая память (буфер) близка к переполнению. Он может исключить запись данных, когда гибкая память не заполнена. Обычно используемые понятия отображения и обратного отображения охватываются процессами адаптации скорости и регулировки частоты.

Процесс *доступа/выделения временных слотов/длин волн* выделяет для информации уровня клиента конкретный временной слот/длину волны на уровне сервера в направлении источника. В направлении приемника процесс обеспечивает доступ к конкретному временному слоту/длине волны уровня сервера. Временные слоты используются в системах TDM. Длины волн используются в системах WDM. Конкретный временной слот/длина волны, как правило, закрепляется за функцией адаптации и указывается посредством индексной нумерации. Функцией соединения уровня клиента могут быть сформированы изменяющиеся соединения сигналов клиента с различными временными слотами/длинами волн.

Процесс *мультиплексирования/демультиплексирования* моделируется при помощи нескольких функций адаптации, соединенных с одной AP (см. рисунок 3.3).

Если несколько функций адаптации соединены с одной AP и используют одни и те же временные слоты (биты/байты), то процесс выбора регулируется фактическим доступом к AP.

Процесс *восстановления синхронизации* выделяет сигнал задающего генератора («восстановленный тактовый сигнал») из входного сигнала данных. Процесс восстановления синхронизации выполняется в функции адаптации приемника физического уровня секции.

Процесс *сглаживания* отфильтровывает скачки фазы «входных сигналов с пропусками». Процесс сглаживания выполняется в функции адаптации приемника.

4 ПЕРЕДАЧА ETHERNET ПОВЕРХ PDH

Передача Ethernet поверх PDH (EoPDH – Ethernet over PDH) реализована на основе технологий и стандартов, с помощью которых возможна передача кадров Ethernet поверх существующей телекоммуникационной инфраструктуры, созданной на основе оборудования плезиохронной цифровой иерархии PDH, что позволяет операторам расширять спектр предоставляемых пользователям услуг. Вместе с тем использование EoPDH является промежуточным звеном при переходе к сетям Ethernet.

При передаче информации в соответствии с EoPDH осуществляются следующие преобразования:

- инкапсуляция кадров Ethernet;
- размещение кадров Ethernet;
- объединение каналов;
- настройка пропускной способности канала;
- управление сообщениями;
- тегирование трафика для разделения по виртуальным сетям;
- приоритезация пользовательского трафика.

Инкапсуляция кадров Ethernet – это процедура размещения кадров Ethernet в поле полезной нагрузки структуры (кадра) другого формата, предназначенного для передачи по сети, не поддерживающей непосредственную передачу кадров Ethernet. Основные задачи инкапсуляции в данном случае – обозначить начало и конец кадра, а также преобразовать пульсирующий трафик данных в равномерный, непрерывный поток. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие технологии инкапсуляции: HDLC (устарела) и GFP. Формирование кадров HDLC и GFP из кадров Ethernet приведено ниже.

Размещение (mapping) – это процедура размещения инкапсулированных кадров Ethernet в контейнеры (циклы передачи) трафика TDM для транспорти-

ровки по каналу связи. В технологии PDH такими контейнерами в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.8040 являются циклы сигналов E12 и E31.

Объединение каналов – объединение двух и более физических каналов в одно виртуальное соединение, что фактически позволяет передавать данные по нескольким физическим каналам с различными задержками и их корректным восстановлением на приемной стороне. Это делает виртуальный канал прозрачным для протоколов верхнего уровня.

Основным протоколом, используемым для EoPDH, сегодня является протокол GFP совместно с виртуальной конкатенацией (VCAT) и протоколом настройки емкости канала (LCAS). Эти протоколы позволяют динамически назначать клиентам пропускную способность, просто изменяя число каналов E12, связанных в виртуальные группы, без замены оконечного сетевого устройства или прерывания обслуживания. Пример размещения кадров GFP при объединении (конкатенации) 16 сигналов E12 показан на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Размещение кадров GFP в сигнале E12

В данном случае в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.704 используется сверхцикловая структура из $N=16$ циклов E12 длительностью 125 мкс. Канальные интервалы (TS) 1...31 используются для переноса октетов кадров GFP. Временной интервал TS1 первого цикла сверхцикла используется для переноса заголовка объединения в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.7043/Y.1343. Этот октет зарезервирован для всех значений N ($N = 1...16$). В случае, не относящемся к виртуальному объединению/схеме регулировки про-

пусковой способности линии (VCAT/LCAS) и предполагающем наличие одного сигнала со скоростью 2048 кбит/с, значение октета, предусмотренного для заголовка объединения, устанавливается на 00x0. В случае отсутствия пользовательского трафика в поле полезной нагрузки передаются «пустые» кадры GFP.

Настройка пропускной способности соединений используется для изменения совокупной пропускной способности путем добавления или удаления логических соединений между двумя узлами. В EoPDH это так называемая виртуальная конкатенация, реализуемая в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.7043.

Производители оборудования с поддержкой EoPDH обеспечивают обработку пакетного трафика Ethernet в том или ином объеме в соответствии со стандартами, указываемыми в техническом описании.

5 ТЕХНОЛОГИЯ SDH КАК ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ ДЛЯ ТРАФИКА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

5.1 Уровневая модель технологии SDH

Уровневая модель транспортной сети при использовании технологии SDH представлена на рисунке 5.1. Эта технология разрабатывалась для передачи трафика TDM и соответствует всем требованиям, предъявляемым к технологиям транспортных сетей.

Уровень каналов	Каналы PDH	Каналы передачи данных (Ethernet)
Уровень трактов	Тракты низшего порядка	
	Тракты высшего порядка	
Уровень среды передачи	Слой секции	Секция мультиплексирования
		Секция регенерации
	Среда передачи (оптическое волокно, радиолинии)	

Рисунок 5.1 – Уровневая структура транспортной сети SDH

В качестве примера на рисунке 5.2 показан однонаправленный тракт VC-4 сети SDH, на котором отмечены функции завершения, адаптации и соединения для всех уровней транспортной модели технологии SDH. Предпола-

гается передача пользовательского трафика, размещаемого в VC-4, в составе STM-16.

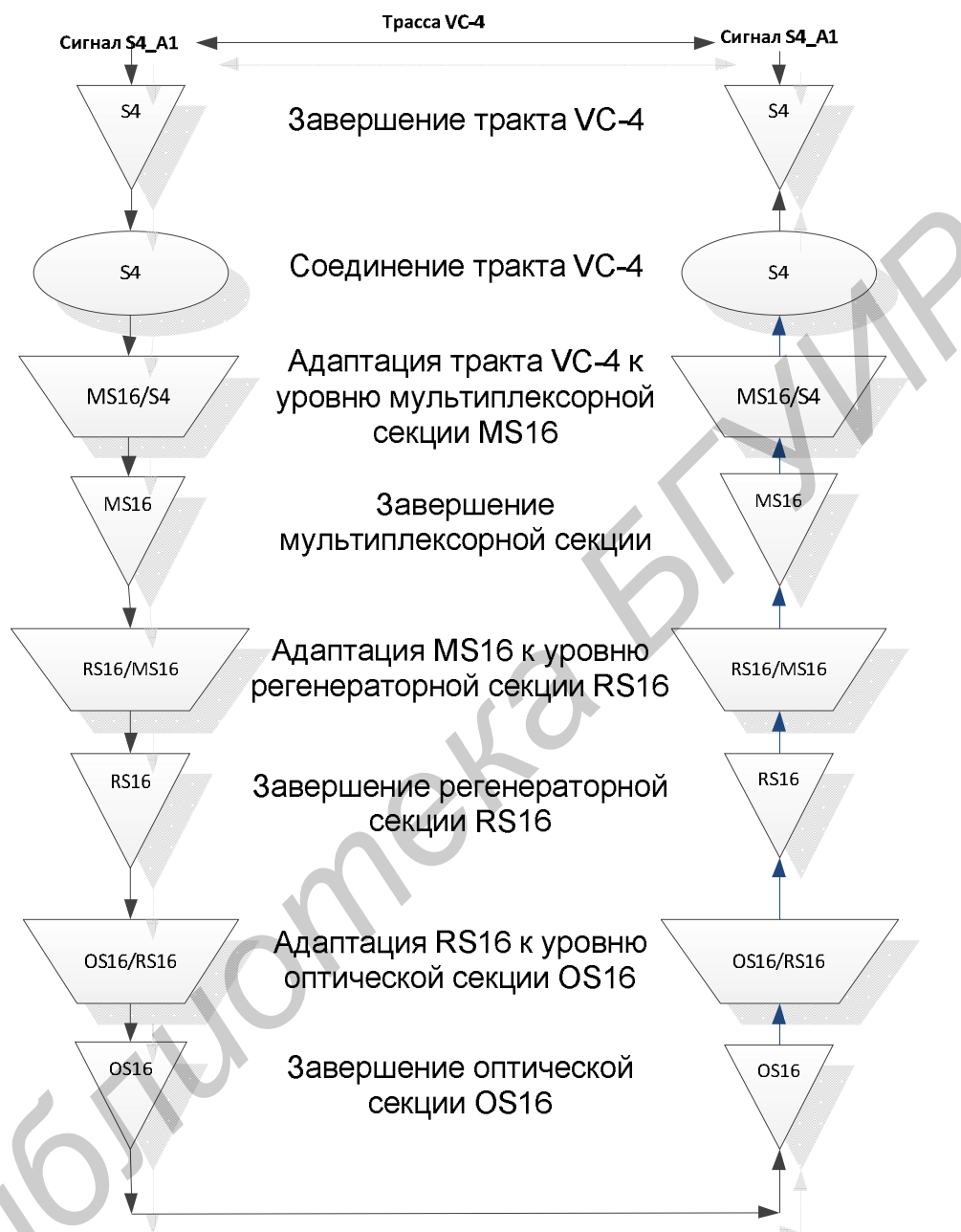


Рисунок 5.2 – Пример однонаправленного тракта VC-4 в сети SDH

Однако с увеличением доли трафика передачи данных происходили соответствующие изменения и в технологии SDH. В данном разделе рассматриваются возможности технологии SDH именно для передачи данных. Для этого изначально была предусмотрена процедура размещения трафика данных в виртуальных контейнерах соответствующего уровня (Рекомендация МСЭ-Т

G.707). Однако без дополнительных преобразований можно использовать виртуальные контейнеры для передачи данных в соответствии с протоколами Ethernet (10 Мбит/с в составе VC-3) и Fast Ethernet (100 Мбит/с в составе VC-4). Для передачи поверх SDH данных с большими скоростями используется механизм конкатенации.

Алгоритм передачи данных в соответствии с технологией Ethernet поверх SDH (EoSDH – Ethernet over SDH) показан на рисунке 5.3 и отражает последовательность функциональных преобразований от тракта Ethernet до уровня регенераторной секции SDH.

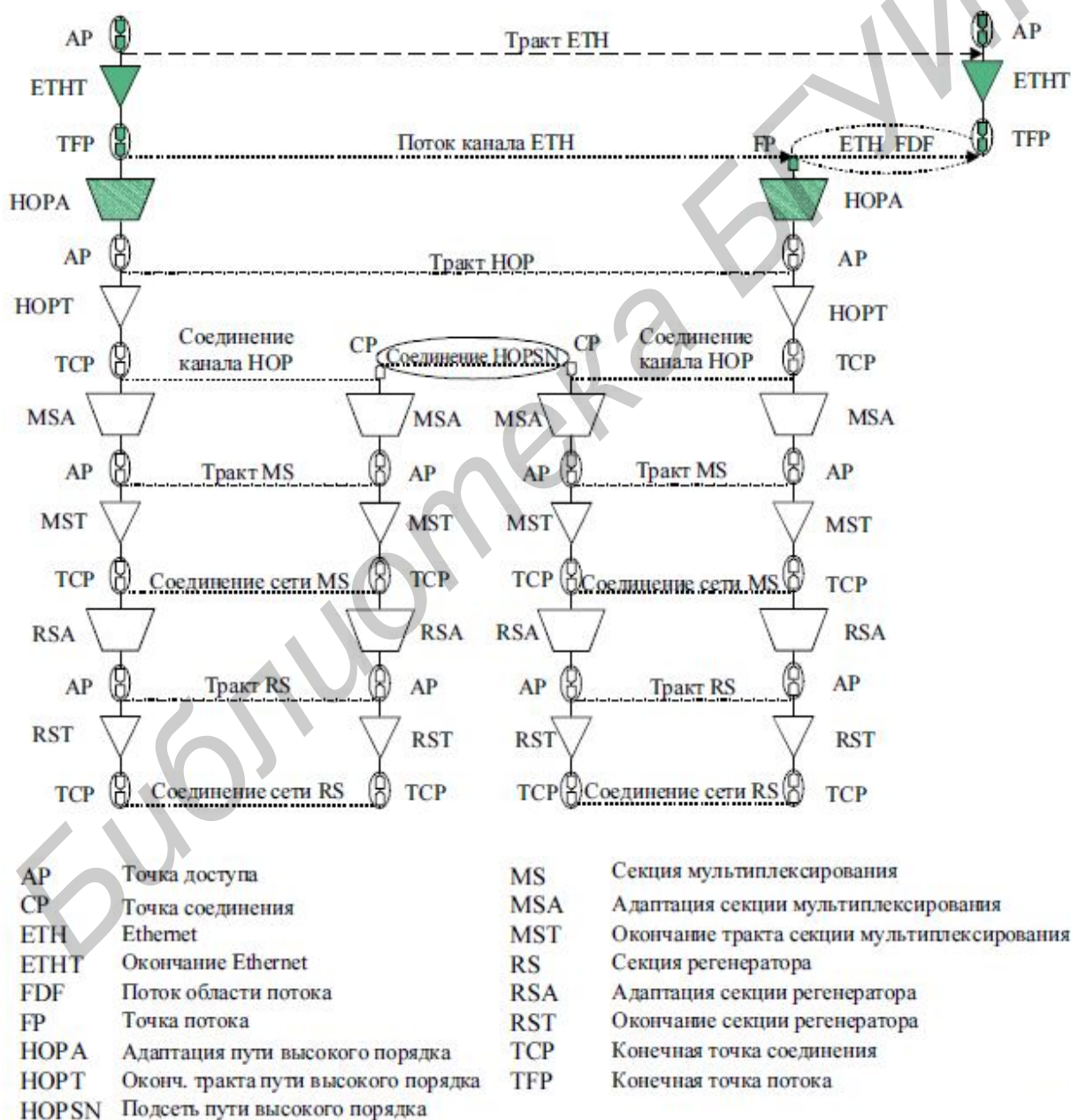


Рисунок 5.3 – Транспортная модель EoSDH

Конкатенация (concatenation в переводе с английского – сцепление, объединение) в SDH – процедура, посредством которой мультиплексированные виртуальные контейнеры связываются друг с другом, в результате чего их объединенная емкость может использоваться как отдельный контейнер, в котором сохраняется целостность последовательности битов полезной нагрузки. Конкатенация позволяет создавать тракты с разной пропускной способностью.

Различают два вида конкатенации: смежная ССАТ (Contiguous Concatenation) и виртуальная VCAТ (Virtual Concatenation). Сцепки обоих видов образуют тракт с пропускной способностью в X раз большей, чем емкость одиночного виртуального контейнера VC-n, но различаются процессами передачи между точками окончания тракта.

Смежная конкатенация определена для VC-2 и VC-4 и обозначается VC-n-Xc, где n – уровень контейнеров (2 или 4), а X = 4, 16, 64, 256 – кратность, т. е. число сцепляемых контейнеров (таблица 5.1). Для VC-4 нагрузка размещается в соседних (смежных) административных блоках AU-4. Указатель первого блока обозначает начало сцепки, а указатели остальных блоков сообщают о принадлежности к ней. Маршрутный заголовок первого виртуального контейнера обслуживает всю сцепку. При этом тракт с пропускной способностью, соответствующей емкости сцепки, образуется по всей трассе из конца в конец. Поэтому все сетевые элементы, через которые он проходит, должны поддерживать процедуру образования смежных сцепок.

Таблица 5.1 – Емкости виртуальных контейнеров при смежной конкатенации

Тип VC	Емкость, Мбит/с	Транспорт SDH
VC-4	149,76	STM-1
VC-4-4c	599,04	STM-4
VC-4-16c	2 396,16	STM-16
VC-4-64c	9 584,64	STM-64
VC-4-256c	38 338,56	STM-256

Структура VC-4-Xc показана на рисунке 5.4. При этом значение указателя административного блока (AU PTR), формируемого из VC-4-Xc, имеет вид 1001SS1111111111.

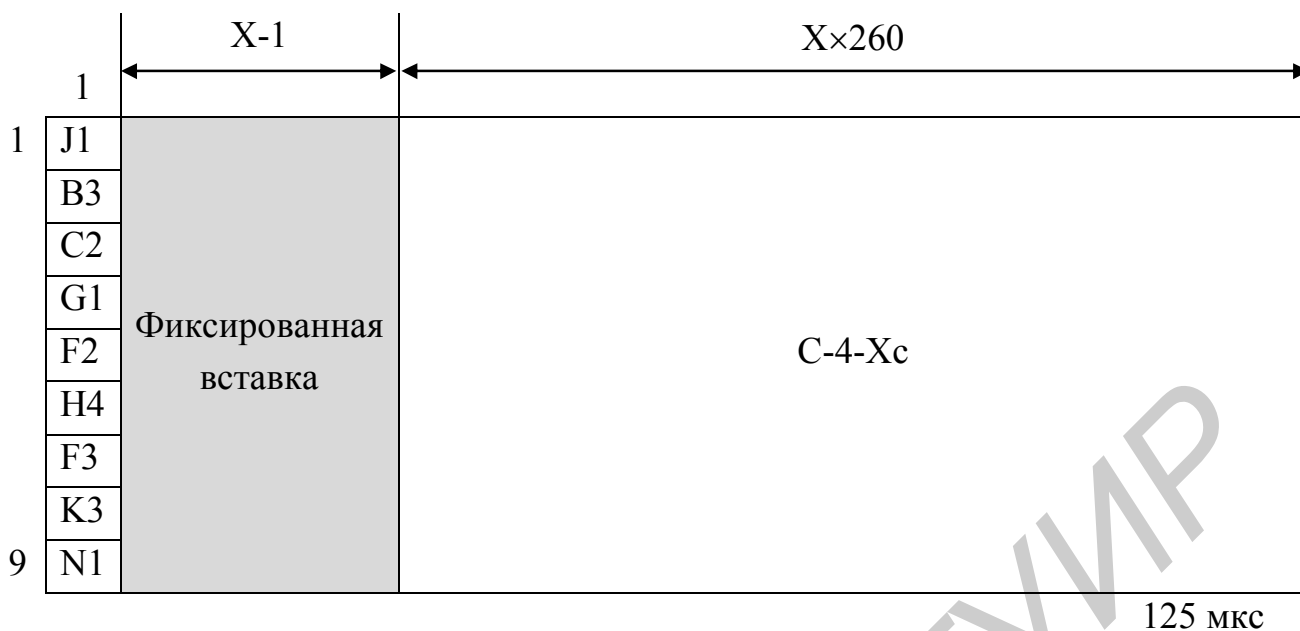


Рисунок 5.4 – Структура VC-4-Xc

Достаточно грубый шаг изменения пропускной способности при смежной конкатенации (см. таблицу 5.1) существенно снижает эффективность использования пропускной способности системы передачи. Например, для передачи сигнала Gigabit Ethernet методом смежной конкатенации требуется тракт VC-4-16c с пропускной способностью 2,5 Гбит/с, при этом ресурс системы используется приблизительно на 50 %, что с учетом 100 % резервирования уменьшает эффективность использования пропускной способности до 25 %.

Идея виртуальной конкатенации состоит в том, что на оконечном оборудовании поток данных разбирается (Splitting) и упаковывается (Mapping) в виртуальные контейнеры, которые передаются по сети автономно как обычные контейнеры. На приемной стороне нагрузка собирается в единый поток.

Виртуальная конкатенация определена для всех VC-n и обозначается VC-n-Xv. Характеристики сцепок виртуальных контейнеров приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Характеристики сцепок виртуальных контейнеров

Тип VC	Кратность, X	Минимальная емкость, Мбит/с	Максимальная емкость, Мбит/с
VC-11-Xv	1...64	1,600	102,400
VC-12-Xv	1...64	2,176	139,264
VC-2-Xv	1...64	6,784	434,176
VC-3-Xv	1...256	43,384	12 386,304
VC-4-Xv	1...256	149,760	38 338,560

Примеры возможной нагрузки и виртуальных сцепок, которые используются для ее транспортирования, приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Примеры возможной нагрузки и виртуальных сцепок

Нагрузка, Мбит/с	Виртуальные контейнеры	Виртуальные сцепки
2	1×VC-12	VC-12
4	2×VC-12	VC-12-2v
10	5×VC-12	VC-12-5v
100	1×VC-4	VC-4
250	2×VC-4	VC-4-2v
1000	7×VC-4	VC-4-7v

При виртуальной конкатенации на передающей стороне нагрузка предварительно размещается в сцепке контейнеров C-n-Xc, а затем побайтно разделяется по X виртуальным контейнерам VC-n. Каждый из X виртуальных контейнеров, в которых размещается нагрузка сцепки, имеет стандартный маршрутный заголовок и передается по сети независимо (может быть, даже по разным трассам). На рисунках 5.5–5.7 показаны структуры виртуальной конкатенации VC-4-Xv, VC-3-Xv, VC-12-Xv соответственно.

На приеме в точке окончания тракта VC-n-Xv нагрузка вновь объединяется. Поскольку время передачи по сети отдельных VC-n может различаться, то при восстановлении сигнала на конце тракта необходимо компенсировать разности задержек контейнеров и расставить их по своим местам в сцепке. Для управления виртуальной конкатенацией используется байт H4 PОН для VC-3/4 и байт K4 PОН для VC-2/12/11.

Аппаратура SDH способна компенсировать максимальное дифференциальное время задержки между виртуальными контейнерами, входящими в сцепку, величиной в 128 мс.

При виртуальной конкатенации функции конкатенации нужны только в точках окончания тракта. Поэтому тракты VC-n-Xv могут проходить через участки сети, на которых установлено оборудование, не поддерживающее смежную конкатенацию.

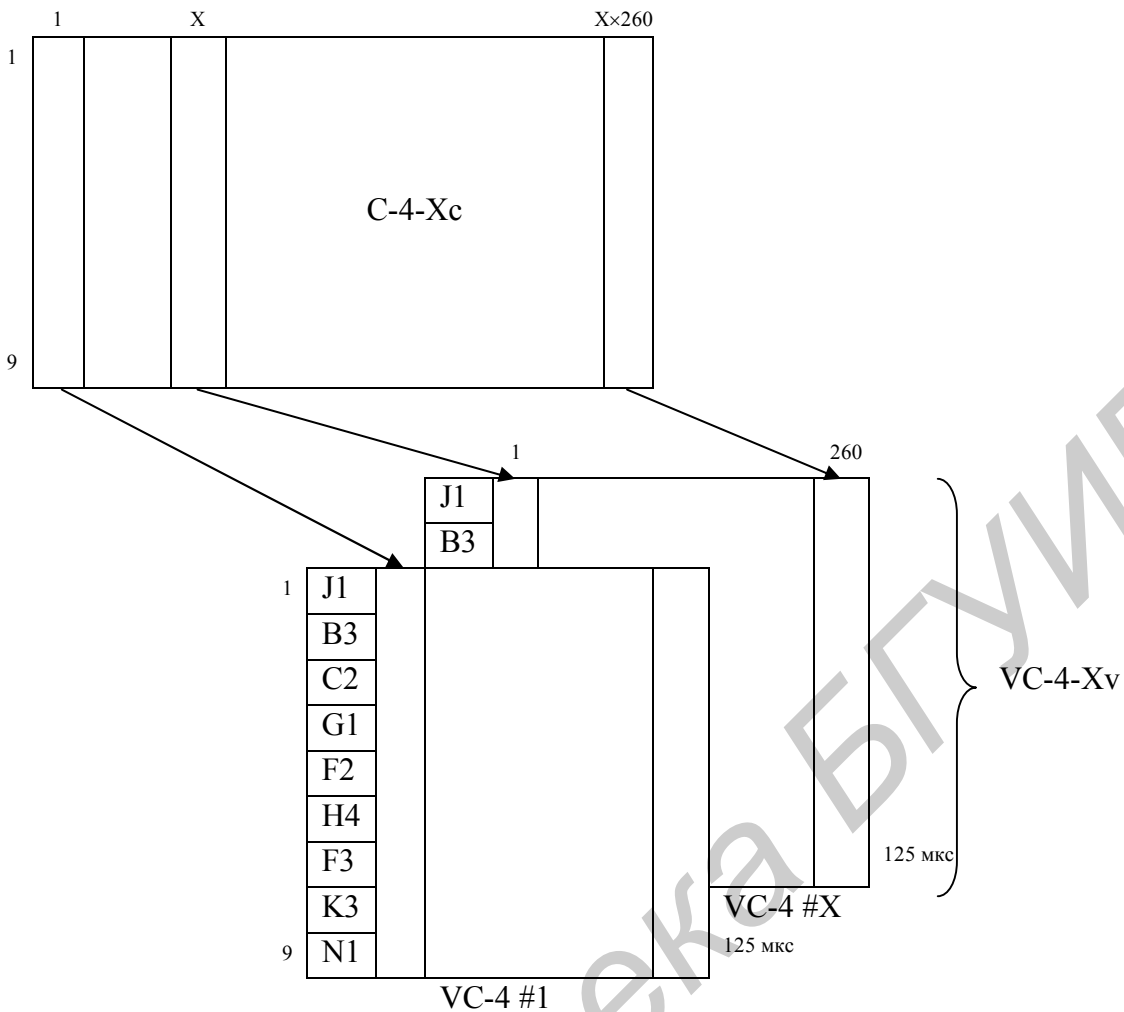


Рисунок 5.5 – Структура виртуальных сцепок VC-4-Xv

Следующим этапом адаптации технологии SDH к передаче пакетного трафика был вариант непосредственной загрузки трафика данных в виртуальные контейнеры. Мы рассмотрим исключительно загрузку данных в форматах Ethernet и IP. Для этого используются протокол HDLC и специально разработанный и стандартизированный протокол PPP (Point-to-Point Protocol) – протокол соединения точка-точка.

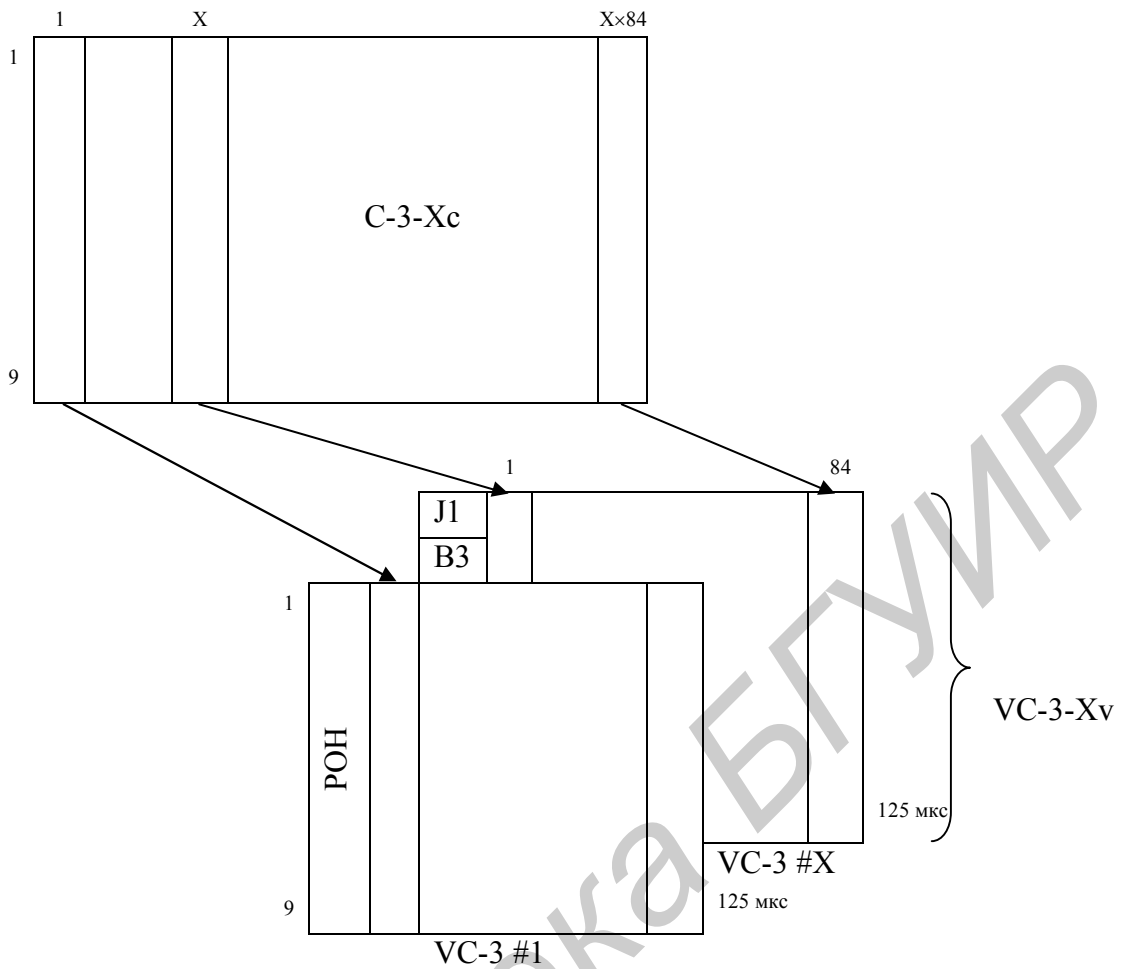


Рисунок 5.6 – Структура виртуальных сцепок VC-3-Xv

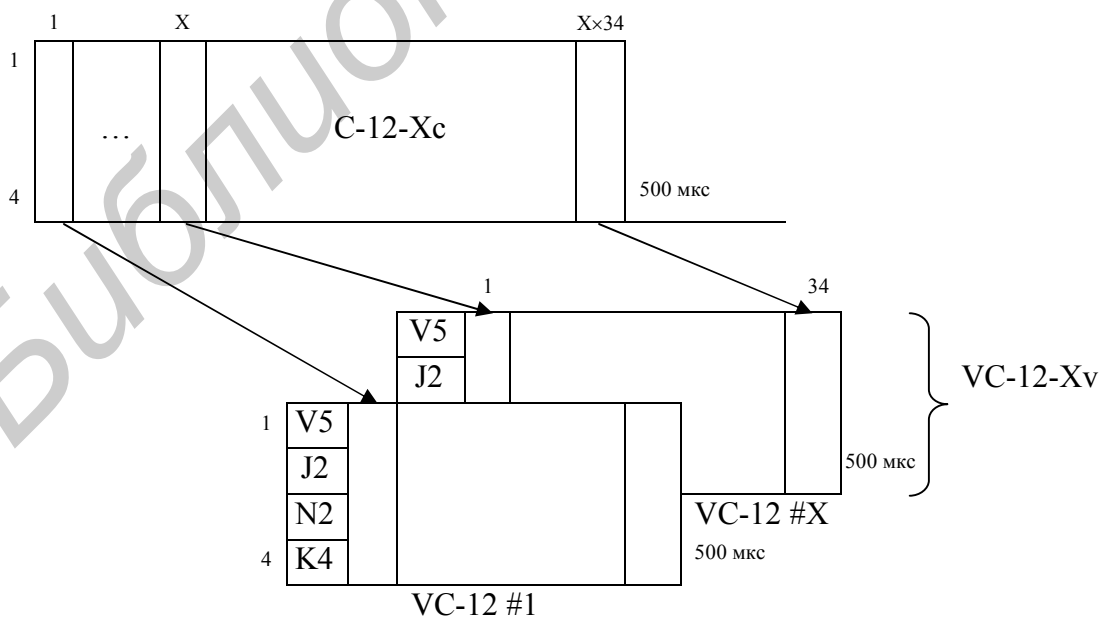


Рисунок 5.7 – Структура виртуальных сцепок VC-12-Xv

5.2 Протокол HDLC

Протокол HDLC (High-level Data Link Control) имеет статус стандарта ISO, является протоколом выделенных линий, и включает протоколы, используемые в глобальных сетях для обеспечения надежной передачи кадров на зашумленных линиях:

- LAP-B – канальный уровень сетей X.25;
- LAP-D – канальный уровень сетей ISDN;
- LAP-M – канальный уровень асинхронно-синхронных модемов;
- LAP-F – канальный уровень сетей Frame Relay.

Основные принципы работы протокола HDLC: режим логического соединения, контроль искаженных и потерянных кадров с помощью метода скользящего окна, управление потоком кадров.

Сегодня протокол HDLC на выделенных каналах вытеснен протоколом PPP. Сложность HDLC объясняется тем, что этот протокол разработан еще в 70-е годы для ненадежных каналов связи и одна из основных его функций – это восстановление поврежденных и утерянных кадров, что в конечном итоге обеспечивает снижение вероятности битовой ошибки (BER) в аналоговых каналах с 10^{-3} до 10^{-9} . Однако сегодня цифровые каналы и без дополнительных процедур восстановления кадров обеспечивают высокое качество ($BER = 10^{-8} \dots 10^{-12}$). Для работы по такому каналу восстановительные функции протокола HDLC уже не нужны. При передаче по аналоговым выделенным каналам современные модемы сами применяют протоколы семейства HDLC. Поэтому использование HDLC на уровне маршрутизатора или коммутатора становится неоправданным.

Протокол HDLC является бит-ориентированным протоколом, что позволяет уменьшить объем управляющей информации, передаваемой по информационному каналу. Благодаря этому повышается эффективность использования этого канала.

Протокол HDLC определяет три типа кадров:

- *информационные кадры (Information)* предназначены для передачи пользовательских данных в процедурах с установлением логического соединения и должны обязательно содержать поле информации; в процессе передачи информационных блоков осуществляется их нумерация в режиме скользящего окна;

- *управляющие кадры (Supervisory)* предназначены для передачи команд и ответов в процедурах с установлением логического соединения, в том числе запросов на повторную передачу искаженных информационных блоков;

– *нечисленные кадры (Unnumbered)* предназначены для реализации дополнительных функций управления каналом: передачи нечисленных команд и ответов, выполняющих в процедурах без установления логического соединения передачу информации, идентификацию и тестирование, установление и разъединение логического соединения, а также информирование об ошибках в процедурах с установлением логического соединения.

Все типы кадров уровня LLC имеют единый формат (рисунок 5.8) и содержат следующие поля:

– *флаг* – используется для синхронизации (определения границ кадра), всегда располагается в начале и конце каждого кадра и имеет вид 01111110;

– *адрес* – определяет станцию назначения, может состоять из одного и более байт (расширение поля адреса);

– *управление* – определяет назначение и функции кадра, состоит из одного или двух байт;

– *информация* – поле переменной длины, содержит пользовательские данные, предназначенные для передачи;

– *контрольная сумма (FCS)* – 16-разрядная или 32-разрядная кодовая комбинация, полученная путем циклического избыточного кодирования для обнаружения ошибок.

Флаг	Адрес	Управление	Поле данных	FCS	Флаг
1 байт	1 и более байт	1 или 2 байта	Переменная длина	2 или 4 байта	1 байт

Рисунок 5.8 – Структура кадра HDLC

Структура поля управления показана на рисунке 5.9. Поле управления содержит следующие позиции:

– N(S) используется для указания номера отправленного кадра;

– N(R) используется для указания номера кадра, который приемник ожидает получить от передатчика следующим, а также выступает в качестве подтверждения приема предыдущих кадров (при работе протокола HDLC используется метод скользящего окна, N(S) и N(R) нумеруются по модулю 8 или 128 в зависимости от 3-разрядного или 7-разрядного номера);

– P/F (Poll/Final – опрос/окончание) имеет следующее значение: в командах он является битом Poll и требует, чтобы на команду был дан ответ, а в

ответах он является битом Final и свидетельствует о том, что ответ состоит из одного кадра;

– M для нумерованных кадров определяет несколько типов команд, которыми пользуются два узла на этапе установления соединения, например, установить сбалансированный асинхронный расширенный режим (является запросом на установление соединения), нумерованное подтверждение (служит для подтверждения установления или разрыва соединения), сброс соединения (запрос на разрыв соединения).

8-разрядное поле управления

1	2	3	4	5	6	7	8	Разряды поля управления
0	N(S)			P/F	N(R)			Информационные кадры
1	0	S		P/F	N(R)			Кадры управления
1	1	M		P/F	M			Ненумерованные кадры

16-разрядное поле управления

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Разряды поля управления
0	N(S)							P/F	N(R)							Информационные кадры
1	0	S	0	0	0	0	P/F	N(R)							Кадры управления	

Рисунок 5.9 – Структура поля управления кадра HDLC

Информационное поле содержит действительные данные пользователя и имеется только в кадре информационного формата.

Поле FCS – контрольная последовательность кадра – используется для обнаружения ошибок передачи между двумя станциями. Передающая станция осуществляет вычисления над потоком данных пользователя по процедуре CRC, и результат этого вычисления включается в кадр в качестве поля FCS. В свою очередь, принимающая станция производит аналогичные вычисления и сравнивает полученный результат с информацией в поле FCS. Если имеет место совпадение, принимается решение, что передача произошла без ошибок. В случае несовпадения принимается решение, что имела место ошибка при приеме кадра, и принимающая станция посылает отрицательное подтверждение, означающее, что необходимо повторить передачу кадра. Вычисление CRC называется циклическим контролем по избыточности и использует производящий полином в соответствии с Рекомендацией МСЭ-T V.41.

5.3 Point-to-Point протокол

Протокол PPP (Point to Point Protocol – протокол «точка-точка») работает в режиме с установлением соединения, обеспечивает реализацию непосредственного обмена информацией и решает следующие задачи:

- конфигурация и проверка качества связи;
- подтверждение подлинности (аутентификация) удаленного пользователя;
- динамическое присвоение адресов IP и управление этими адресами;
- обнаружение и коррекция ошибок и др.

Протокол PPP включает три основных компонента:

- протокол передачи данных методом инкапсуляции – формирование дейтаграмм для передачи по последовательным каналам передачи;
- расширяемый протокол контроля канала LCP (Link Control Protocol) для организации, выбора конфигурации и проверки соединения канала передачи данных;
- семейство протоколов контроля сети NCP (Network Control Protocols) для организации и выбора конфигурации различных протоколов сетевого уровня.

Для организации связи по каналу с непосредственным соединением иницирующий PPP в начале отправляет пакеты LCP для задания конфигурации соединения, а также проверки канала передачи данных. После того как канал установлен и пакетом LCP выполнено необходимое согласование факультативных средств, иницирующий PPP отправляет пакеты NCP, чтобы выбрать и определить конфигурацию одного или более протоколов сетевого уровня. Как только конфигурация каждого выбранного протокола определена, дейтаграммы из каждого протокола сетевого уровня могут быть отправлены через данный канал. Канал сохраняет свою конфигурацию до тех пор, пока пакеты LCP или NCP явно не закроют его или пока не произойдет какое-нибудь внешнее событие (например, истечет срок бездействия таймера или вмешается какой-нибудь пользователь).

На канальном уровне протокол PPP использует принципы, терминологию и структуру блока данных процедур HDLC. Протокол PPP разработан для каналов связи, которые транспортируют пакеты между двумя одноранговыми объектами. Эти каналы обеспечивают полnodуплексное одновременное двунаправленное функционирование и передают пакеты в соответствующем порядке.

Инкапсуляция PPP обеспечивает мультиплексирование различных протоколов сетевого уровня одновременно в одном и том же канале. Метод инкапсу-

ляции PPP разработан для сохранения совместимости с наиболее часто используемыми аппаратными средствами поддержки.

Инкапсуляция PPP используется для прозрачной передачи дейтаграмм различных протоколов. Она требует указаний на начало и конец инкапсуляции.

Протокольный блок данных PPP показан на рисунке 5.10, где поле «Информация» содержит данные, инкапсулируемые в PPP. Поля передаются слева направо.

Протокол	Информация	Дополнение
8 или 16 бит	Переменная длина	2 или 4 байта

Рисунок 5.10 – Структура кадра PPP

Поле «Протокол» содержит один или два октета. Их значения идентифицируют вид дейтаграммы, вставленной в поле «Информация». Значения поля «Протокол» определяются в последнем издании «Assigned Numbers RFC». Значения кодов поля протокола от 0xxx до 3xxx идентифицируют протоколы сетевого уровня, а значения в интервале 8xxx–bxxx говорят о том, что протокол соответствует NCP (Network Control Protocol). Коды из диапазона 4xxx–7xxx используются для протоколов с низким уровнем трафика, а коды от Cxxx до Exxx соответствуют управляющим протоколам (например LCP).

Поле «Информация» содержит дейтаграмму в соответствии с протоколом, указанным в поле «Протокол». Поле «Информация» имеет переменную длину. Максимальная длина поля «Информация», включая поле «Дополнение», не должна превышать 1500 байт. В соответствии с априорным соглашением реализации PPP могут использовать другие значения максимальной длины информационного поля. Поле «Информация» при передаче может дополняться произвольным числом октетов, вплоть до максимального значения. Каждый протокол должен иметь возможность отличать дополнительные октеты от реальной информации.

Формат кадра PPP при инкапсуляции показан на рисунке 5.11.

Флаг	Адрес	Управление	Протокол	Данные	FCS	Флаг
1 байт	1 байт	1 байт	2/1 байт	Переменная длина до 1500 байт	2 или 4 байта	1 байт

0021	IP-дейтаграмма
------	----------------

Рисунок 5.11 – Формат кадра PPP при инкапсуляции

Поле «Флаг» указывает на начало или конец кадра PPP, имеет вид 0x7E (01111110).

Поле «Адрес» содержит двоичную последовательность 11111111, представляющую собой стандартный широковещательный адрес. PPP не присваивает индивидуальных адресов станциям.

Поле «Управление» составляет 1 байт и содержит двоичную последовательность 00000011, которая требует от пользователя передачи информации непоследовательным кадром.

Поле «Протокол» представлено в разделе 5.2.

Поле «Данные» включает поля «Информация» и «Дополнение», описанные выше. Длина поля «Данные» от нуля до 1500 байт.

Поле FCS – поле проверочной последовательности блока данных (FCS – frame check sequence) обычно составляет 16 бит (два байта). В соответствии с априорным соглашением реализации PPP могут использовать 32-битовое (4-байтовое) поле FCS, чтобы улучшить процесс выявления ошибок.

Протокол PPP для достаточной универсальности и применимости к широкому разнообразию систем включает протокол контроля канала LCP. Протокол LCP используется, чтобы автоматически согласовывать опции формата инкапсуляции, изменять пределы размеров пакетов, обнаруживать заикливание звена и другие ошибочные ситуации, связанные с различиями конфигураций, и разрывать связь. Его другие дополнительные средства обслуживания – это аутентификация идентичности однорангового объекта и определение, когда связь функционирует должным образом, а когда нет.

Процесс контроля канала включает четыре фазы:

1. Организация канала и согласование его конфигурации. Прежде чем может быть произведен обмен какими-либо дейтаграммами сетевого уровня (например IP), LCP сначала должен открыть связь и согласовать параметры конфигурации. Эта фаза завершается после того, как будет отправлен и принят пакет подтверждения конфигурации.

2. Определение качества канала связи. LCP обеспечивает необязательную фазу определения качества канала, которая следует за фазой организации канала и согласования его конфигурации, где проверяется канал с целью выяснения, является ли качество канала достаточным для вызова протоколов сетевого уровня. Эта фаза является полностью факультативной. LCP может задержать передачу информации протоколов сетевого уровня до завершения этой фазы.

3. Согласование конфигурации протоколов сетевого уровня. После того как LCP завершит фазу определения качества канала связи, соответствующими NCP может быть выбрана конфигурация сетевых протоколов, и они могут быть в любой момент вызваны и освобождены для последующего использования. Если LCP закрывает данный канал, он информирует об этом протоколы сетевого уровня, чтобы они могли принять соответствующие меры.

4. Прекращение действия канала. LCP может в любой момент закрыть канал. Это обычно делается по запросу пользователя, но может произойти также из-за какого-нибудь физического события, такого, как потеря носителя или истечение периода бездействия таймера.

Существует три класса пакетов LCP:

- пакеты для организации канала связи, используются для организации и выбора конфигурации канала;
- пакеты для завершения действия канала, используются для завершения действия канала связи;
- пакеты для поддержания работоспособности канала, используются для поддержания и отладки канала.

Эти пакеты используются для достижения работоспособности каждой из фаз LCP.

Семейство протоколов контроля сети (NCPs – Network Control Protocols) отвечает за определенные функции, требуемые соответствующими протоколами сетевого уровня.

Каналы PPP достаточно легко конфигурируются. Все общие конфигурации имеют стандартные значения по умолчанию. Приложение может модернизировать значения, установленные по умолчанию, о чем автоматически сообщается одноранговому объекту без вмешательства оператора. Наконец, оператор может явно задавать опции, которые позволяют каналу работать в окружающих средах, где иначе это было бы невозможно.

5.4 Передача пакетного трафика по сетям SDH

Использование протокола HDLC позволяет создавать коридор для передачи трафика IP между двумя точками сети в режиме с установлением соединения. При этом используется следующая схема преобразований:

IP → PPP → HDLC → VC-n SDH

На первом этапе пакеты IP инкапсулируются в кадры PPP, которые в свою очередь преобразуются в кадры HDLC путем добавления байтов заголовка (см. рисунок 5.10), в состав которого входит контрольная сумма CRC-32. Далее в соответствии с RFC 2615 осуществляется загрузка кадров HDLC в поле полезной нагрузки VC-n. Для выравнивания скорости пакетного трафика до скорости VC-n используются пустые кадры, соответствующие по структуре флагам кадра HDLC.

Недостатком данного метода является то, что пропускная способность канала SDH выбирается равной максимальной (пиковой) скорости передачи пакетного трафика, чтобы исключить его потерю. Учет большого коэффициента пульсаций пакетного трафика $k = 50 \dots 100$, определяемого как отношение пиковой скорости передачи данных к средней, опять приводит к низкой эффективности использования пропускной способности системы передачи.

Следующими этапами, не актуальными на сегодняшний день при передаче пакетного трафика по SDH, были:

- использование протокола LAPS (Link Access Protocol to SDH) – протокола доступа к каналу SDH, когда в VC-n непосредственно загружались кадры Ethernet;
- использование протокола ATM, для которого характерно разбиение пользовательского трафика на фрагменты, которые в дальнейшем преобразуются в ячейки фиксированного размера (53 байта).

Максимальное распространение в современных условиях для передачи пакетного трафика получил протокол GFP.

5.5 Протокол GFP

Протокол GFP (Generic Framing Procedure) был разработан и стандартизирован МСЭ-Т как протокол инкапсуляции данных для передачи пакетного трафика по транспортным сетям, построенным на основе оборудования временного разделения каналов (TDM).

Требования, предъявляемые к протоколу GFP:

- пакетный трафик передается в виде кадров GFP;
- процедура формирования кадров GFP должна быть максимально простой;
- заголовки кадров должны иметь фиксированный размер для удобства их обработки;

- протокол GFP не должен быть связан с уровнями контроля качества и управления пропускной способностью систем передачи;
- простота процедур выравнивания скоростей;
- протокол GFP должен быть максимально адаптирован к специфике мультисервисного трафика.

Основное назначение протокола GFP – линейаризация (выравнивание) трафика передачи данных для последующего удобства его загрузки в транспортную сеть, ориентированную на коммутацию каналов, например, сеть на основе оборудования SDH или PDH. Другими словами, протокол GFP выполняет роль промежуточного звена между сетями с коммутацией пакетов и коммутацией каналов.

В частности, при использовании транспортной сети SDH цепочка преобразований Ethernet → SDH в модели NGSDH выглядит следующим образом:

Ethernet → GFP → Virtual Concatenation → LCAS → SDH.

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.7041 протокол GFP выполняет две категории задач:

- определение формата данных при их инкапсуляции в GFP, что связано со спецификой передаваемого трафика;
- определение процедур загрузки и передачи кадров GFP, что соответствует унифицированным алгоритмам работы GFP.

Уровневое представление протокола GFP показано на рисунке 5.12, где приняты следующие обозначения: GFP-C – GFP Common – общий уровень протокола, соответствующий нижнему уровню; GFP-F – Frame-Mapped GFP – часть протокола верхнего уровня, используемая для передачи протокол-ориентированного трафика PDU (Protocol Data Unit), для которого характерна высокая неравномерность скорости передачи информации (большой коэффициент пульсаций); GFP-T – Transparent GFP – часть протокола верхнего уровня, используемая для передачи блок-ориентированного трафика, который передается в виде блоков с постоянной скоростью, например, передача данных от систем хранения.

Модель связей клиентов и транспортной сети при использовании протокола GFP показана на рисунке 5.13.

Рассмотрим более подробно формирование кадров GFP на каждом из уровней. Для общего уровня протокола, не зависящего от типа нагрузки, существуют два типа кадров GFP-C: клиентские кадры и кадры управления GFP.

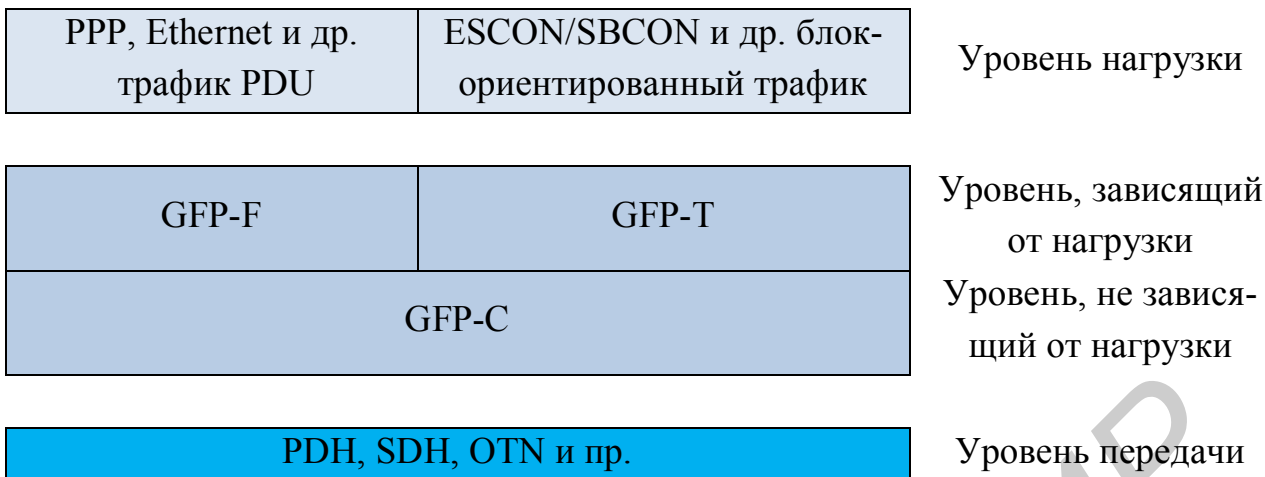


Рисунок 5.12 – Обобщенная уровневая структура протокола GFP

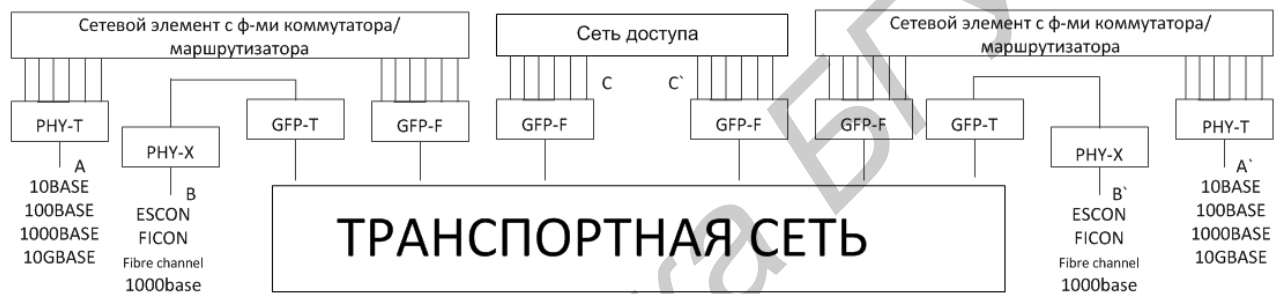


Рисунок 5.13 – Функциональная модель протокола GFP

Структура клиентского кадра показана на рисунке 5.14. Кадр GFP-C имеет байтовую структуру (одна строка – один байт), содержит поле заголовка и поле полезной нагрузки, размер которого в зависимости от типа нагрузки изменяется в пределах 4...65 535 байт. Заголовок кадра состоит из 4 байт и содержит поле PLI (Payload Length Indicator) – индикатор размера поля нагрузки. Ошибка в поле PLI может привести к неправильному считыванию всего кадра GFP. Для обеспечения целостности клиентской информации используется дополнительная проверка на ошибки сНЕС (core Header Error Check) поля PLI, которая позволяет обнаруживать и исправлять одиночные битовые ошибки, реализованная на основе циклического избыточного кодирования CRC-16 с образующим полиномом $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$.

Поле полезной нагрузки кадра GFP имеет переменный размер 4...65 535 байт, состоит из полей заголовка нагрузки, собственно нагрузки и поля дополнительной контрольной суммы. Нижний предел в 4 байта определяется размером заголовка пустого кадра, максимальный – определен с запасом на перспективу.

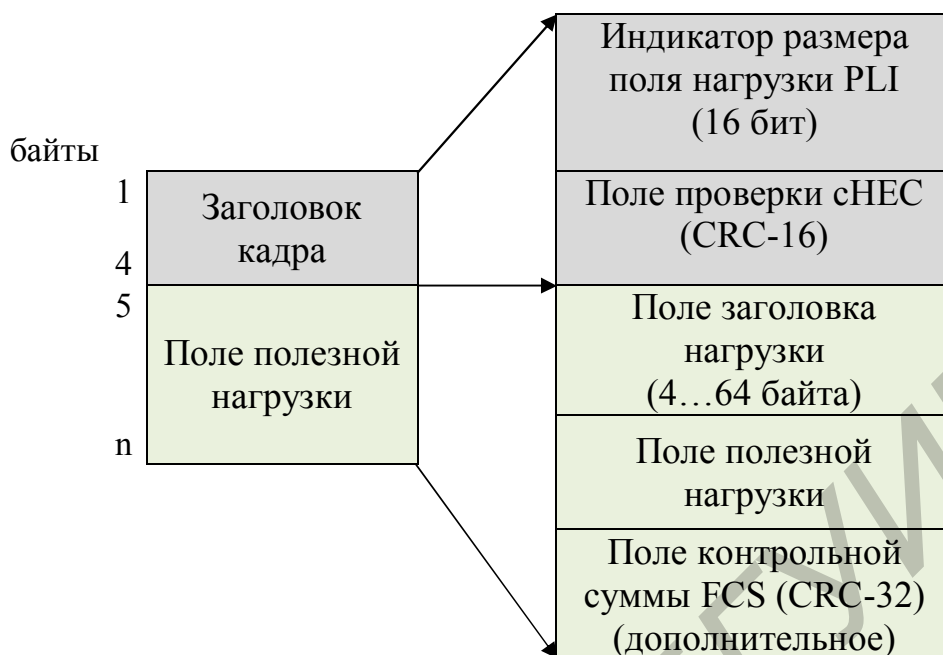


Рисунок 5.14 – Структура клиентского кадра GFP-C

Поле «Заголовок нагрузки» (рисунок 5.15) состоит из 4...64 байт и содержит следующие поля:

- **Туре** – тип нагрузки (обязательное), несет информацию о типе нагрузки, наличии или отсутствии полей расширения заголовка и контрольной суммы FCS кадра GFP;
- **tНЕС** – type Header Error Check – контроль и коррекция ошибок поля Туре (обязательное);
- расширение заголовка, которое используется для передачи дополнительных данных, связанных с нагрузкой, например, идентификаторы виртуальных контейнеров, адреса передатчиков и приемников, номер порта, класс обслуживания, сигналы о неисправностях и пр.;
- поле **eНЕС** – контроль поля расширения заголовка по процедуре CRC-16 (2 байта).

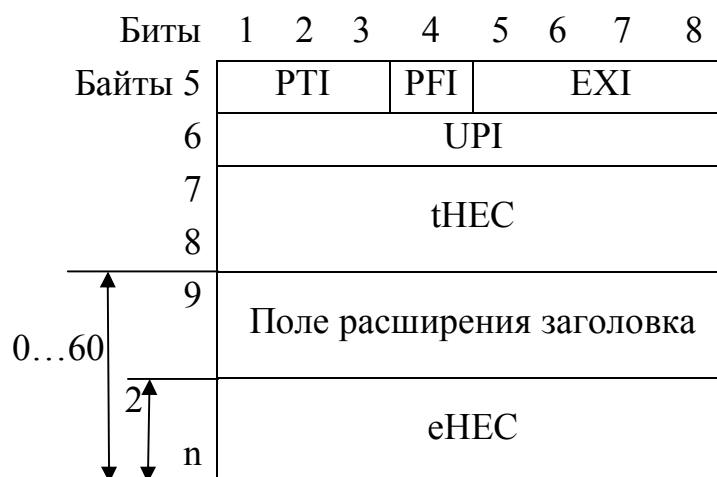


Рисунок 5.15 – Структура поля заголовка нагрузки кадра GFP-C

В свою очередь поле заголовка Type (см. рисунок 5.15) включает следующие поля:

- поле PTI (Payload Type Identifier) – идентификатор типа нагрузки, состоит из 3 бит, определяющих тип клиентского кадра GFP (000 – данные пользователя; 100 – данные управления);

- поле PFI (Payload FCS Indicator) – индикатор наличия контрольной суммы FCS в поле нагрузки (PFI = 1 – поле FCS есть; PFI = 0 – поле FCS отсутствует);

- поле EXI (Extension Header Identifier) – идентификатор наличия расширения заголовка нагрузки (EXI = 0000 – поле расширения отсутствует; EXI = 0001 – Linear frame – линейный заголовок кадра (для передачи по схеме PPP), EXI = 0010 – Ring frame – кольцевой заголовок кадра, используется в технологиях Token Ring, FDDI, RPR и т. д.);

- поле UPI (User Payload Identifier) – определяет тип передаваемой нагрузки, его интерпретация зависит от поля PTI. Например, при PTI = 000, передаются данные пользователя, UPI = 00000001 – соответствует передаче кадров Ethernet, UPI = 00000010 – кадров PPP и т. д.

Кадр управления GFP-C. На сегодняшний день стандартизирован только «пустой» кадр, имеющий размер 4 байта, в котором отсутствует поле нагрузки. Кадр управления GFP-C используется для заполнения канала передачи в случае, когда пропускная способность канала больше, чем требуется для передачи клиентского трафика. Поля PLI и eHEC для кадра управления состоят из всех «0», для устранения длинных серий нулей в протоколе GFP используется

скремблирование. Применение кадров GFP-C обеспечивает полное заполнение пропускной способности канала TDM.

Подуровень GFP-F/GFP-T предназначен для передачи трафика пользователя. На рисунке 5.16 показан алгоритм преобразования (инкапсуляции) кадра Ethernet в кадр GFP.

При инкапсуляции используется принцип «один к одному» и побайтная (октетная) загрузка информации в поле нагрузки GFP. Кадр Ethernet загружается от поля адреса получателя (DA – Destination address) до поля контрольной суммы FCS. Защитные интервалы между кадрами Ethernet не передаются, а восстанавливаются в точке восстановления трафика Ethernet. Такое преобразование кадров Ethernet в кадры GFP минимизирует изменение данных пользователя – они не фрагментируются, не преобразовываются, контрольные суммы не пересчитываются, что значительно упрощает передачу данных пользователя.

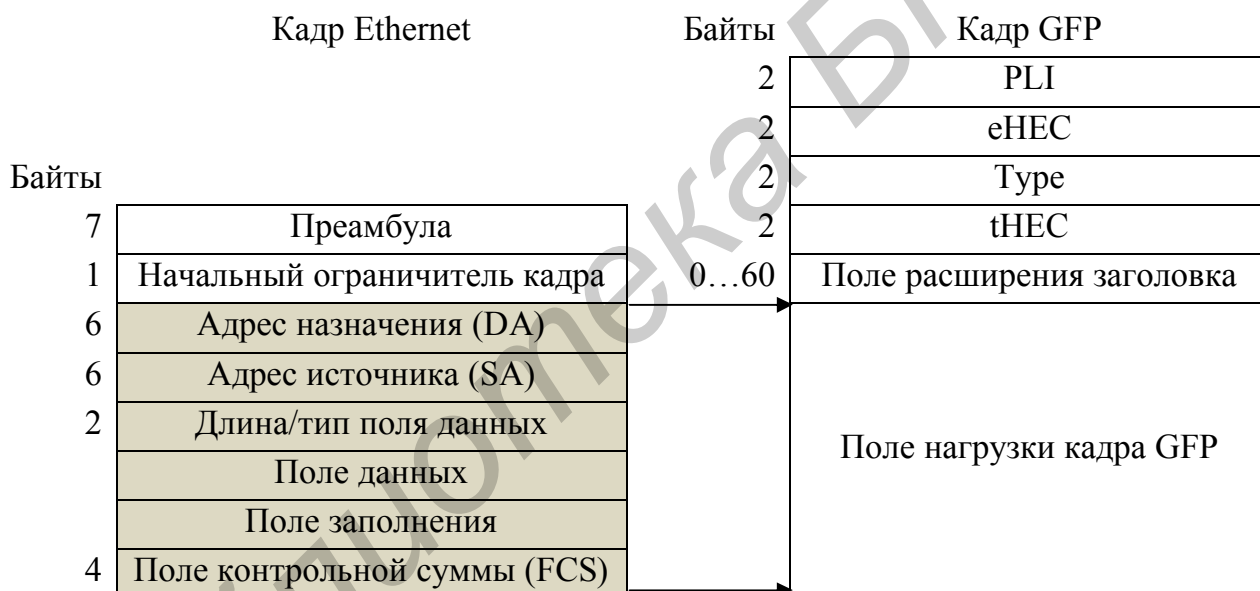


Рисунок 5.16 – Инкапсуляция кадра Ethernet в кадр GFP

На рисунках 5.17–5.19 показаны схемы инкапсуляции в кадры GFP кадров PPP/HDLC, PPP и пакетов IP. Еще раз подчеркнем, что кадры пользователя при преобразовании в кадры GFP не подвергаются никаким сложным изменениям, не фрагментируются, не преобразовываются, контрольные суммы не пересчитываются и пр.

На рисунке 5.20 показана структура кадра GFP-T для передачи данных блок-ориентированного трафика (систем хранения данных).

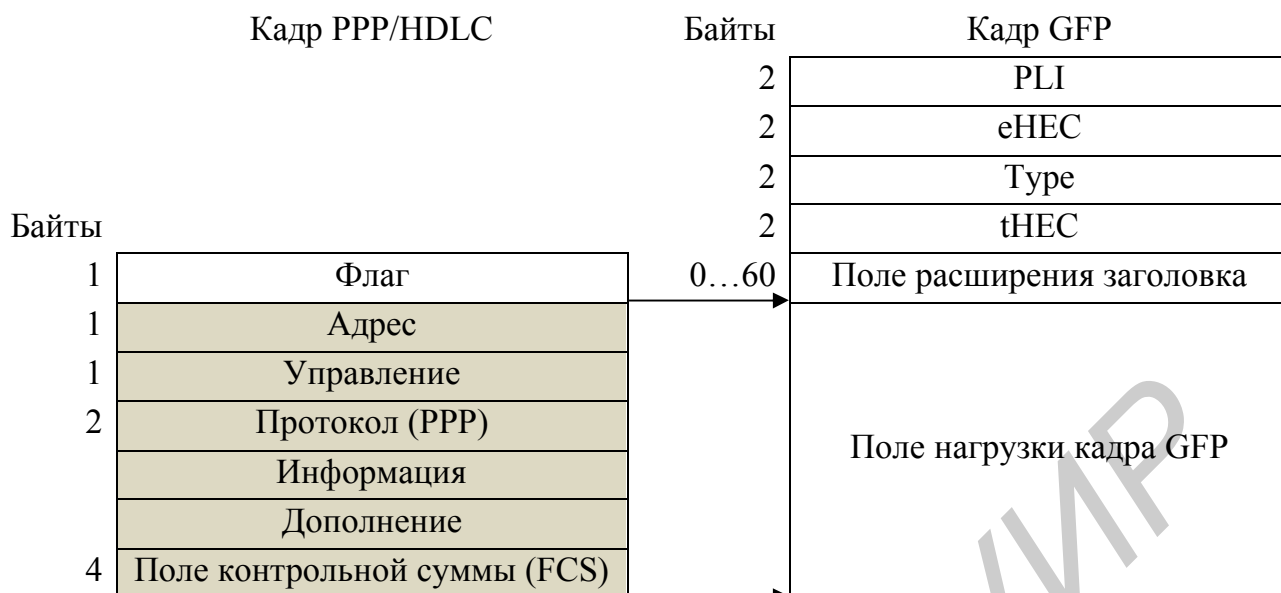


Рисунок 5.17 – Инкапсуляция кадра PPP/HDLC в кадр GFP

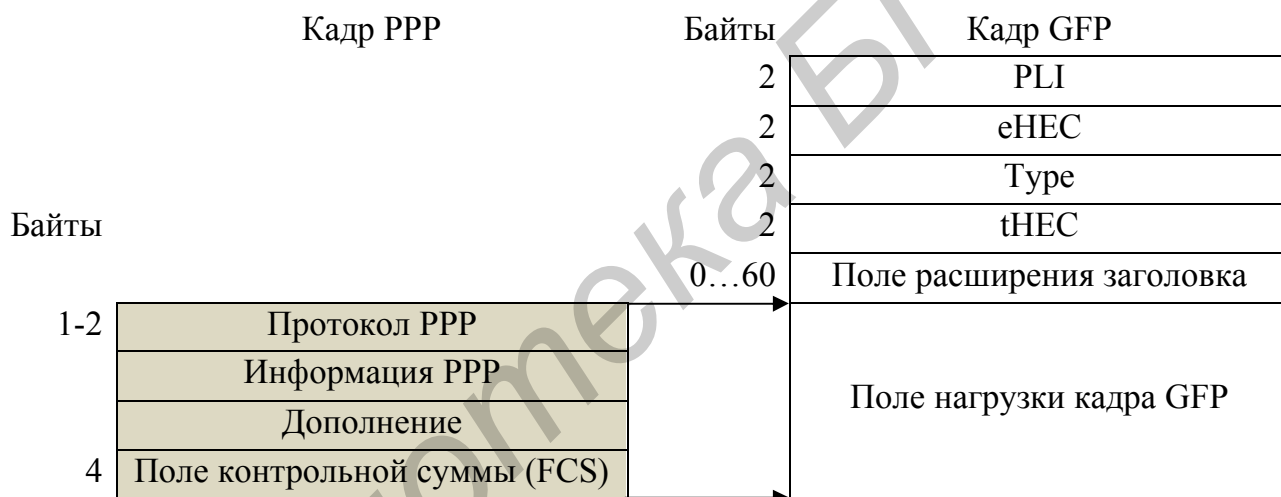


Рисунок 5.18 – Инкапсуляция кадра PPP в кадр GFP

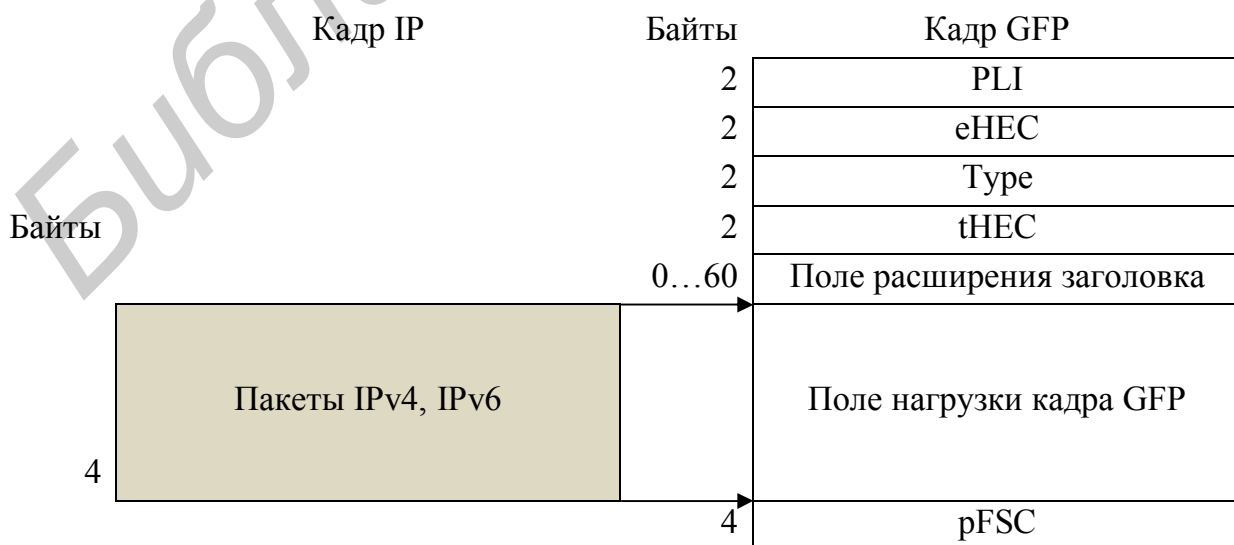


Рисунок 5.19 – Инкапсуляция пакета IP в кадр GFP

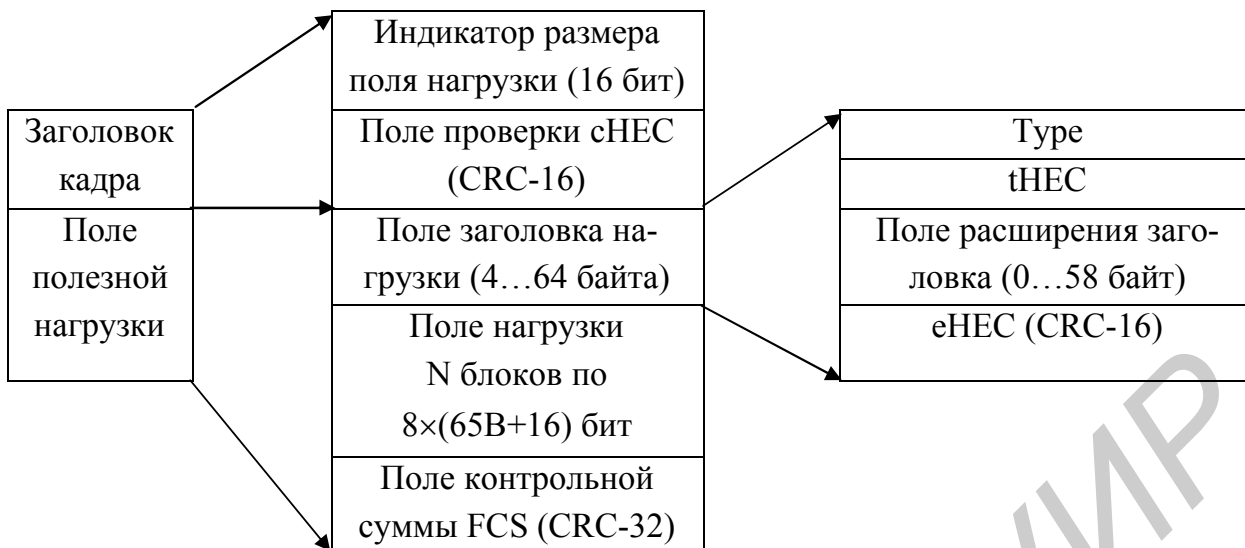


Рисунок 5.20 – Структура кадра GFP-T

5.6 Управление пропускной способностью канала

Для повышения эффективности использования пропускной способности канала системы передачи SDH при передаче пакетного трафика был разработан протокол LCAS – Link Capacity Adjustment Scheme, который позволяет динамически изменять соотношение между пропускной способностью каналов, предназначенных для передачи трафика TDM и пакетного трафика. LCAS можно рассматривать как систему сигнализации, в соответствии с которой динамически изменяется пропускная способность виртуальных каналов, обеспечивающих передачу данных.

6 ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ OTN

6.1 Транспортные решения OTN/OTN

Транспортные сети, построенные на основе технологии спектрального уплотнения (WDM), не являются собственно цифровыми сетями, т. к. они лишь предоставляют пользователям отдельные спектральные каналы, в которых могут передаваться как цифровые, так и аналоговые сигналы. Для передачи цифровых данных необходимо договориться о методе модуляции и кодирования, а также предусмотреть механизмы контроля качества, исправление битовых ошибок, обеспечение отказоустойчивости, оповещение пользователя о состоянии соединения и т. п.

Исторически по спектральным каналам DWDM передавали сигналы SDH. Однако, как уже отмечалось, данная технология разрабатывалась для передачи трафика TDM, в связи с чем для нее характерны следующие недостатки:

- недостаточная эффективность механизма предварительной коррекции ошибок, стандартизированного для SDH, что препятствует дальнейшему повышению плотности спектральных каналов. Это связано с тем, что при увеличении количества спектральных каналов в оптическом волокне увеличивается взаимное влияние между сигналами, возрастают искажения сигналов и, как следствие, увеличивается коэффициент битовых ошибок;

- коммутация в сетях SDH производится на достаточно низком для современных транспортных сетей уровне VC-4 (140 Мбит/с), что усложняет оборудование сети. Желательно наличие сетевых трактов с большими пропускными способностями, более соответствующими битовой скорости передачи данных в 10, 40 и 100 Гбит/с (механизмы смежной и виртуальной конкатенации SDH частично решают эту проблему, но она остается);

- не учтены особенности трафика различного типа.

На преодоление этих недостатков нацелена новая технология оптических транспортных сетей (Optical Transport Network, OTN), которая обеспечивает передачу и мультиплексирование цифровых данных по волновым каналам DWDM более эффективно, чем SDH.

Оптическая транспортная иерархия (Optical Transport Hierarchy, OTH), как определено в рекомендациях МСЭ-Т G.709 и G.798, предусматривает методы размещения, мультиплексирования и управления сетями, поддерживающими различные клиентские сигналы в их натуральном формате, независимо от типов используемых протоколов. В стандарте описана единая структура Optical Data Unit (ODU)/Digital wrapper, в которой можно разместить несколько потоков данных в существующих форматах, а затем объединить их с другими сигналами и далее передавать и управлять в едином стиле с единой функциональностью, характерной для транспортных сетей.

Нужно отметить, что технология OTN не заменяет технологии DWDM, а дополняет ее волновые каналы «цифровой оболочкой». Архитектура сетей OTN описана в стандарте МСЭ-Т G.872.

Первая версия OTH была ориентирована преимущественно на клиентские сигналы SDH. Поэтому изначально в рекомендации G.709 были определены только 3 фиксированных типа ODU-контейнеров:

- ODU1 для CBR2G5 (STM-16);

- ODU2 для CBR10G (STM-64);
- ODU3 для CBR40G (STM-256).

В настоящее время структуры OTN рассматриваются с учетом передачи таких клиентских сигналов, как:

- Ethernet 1GE, 10GE WAN/LAN, 40GE, 100GE;
- OTN 2,5G, 10G, 40G, 100G;
- SDH 2,5G, 10G, 40G;
- Fiber Channel 1G, 2G, 4G, 8G (10G).

Технология OTN является идеальным средством для создания транспортных платформ, обеспечивающих прозрачность при передаче трафика, относящегося к любым услугам поверх оптических каналов WDM-систем, поскольку имеет собственный отдельный заголовок, дающий возможность контролировать сеть и управлять ею. Поэтому поддерживается прозрачная совместная передача совокупности асинхронного (пакетного) и синхронного (TDM) трафика в любых сочетаниях.

Кроме того, системы OTN имеют следующие преимущества:

- эффективны при поддержке асинхронных пакетно-ориентированных услуг, таких, как GE, 10GE, различного уровня Fiber Channel (FC), ESCON/FICON, не имеющих собственных средств мониторинга на физическом уровне;
- позволяют обнаружить и локализовать отказы в WDM-сети, значительно повышая качество предоставляемых услуг;
- являются единственной технологией, которая может передавать широко распространенные в IP/Ethernet клиентские сигналы 10GE LAN PHY;
- обеспечивают совместную передачу синхронных и асинхронных сигналов поверх одного оптического канала системы WDM.

Следует, однако, отметить, что стандартизация OTN в настоящее время продолжается.

Технология OTN может стать универсальным прозрачным электрическим уровнем оптических магистральных сетей связи, расширяя хорошо отработанные в TDM/SDH методы OAM на пакетные интерфейсы типа Ethernet (включая 10GE LAN PHY), FC, ESCON, Digital Video и т. п.

Уровневая структура технологии транспортной OTN представлена на рисунке 6.1

Каналы пользователя	IP	Ethernet	STM-N
Уровень трактов	Блок данных оптического канала (ODU)		
	Транспортный блок данных оптического канала (OUT)	STM-N	IP/MPLS
Уровень оптических физических секции (OPS)	Оптический канал (OCh)		
	Оптическая мультиплексорная секция (OMS-n)		
	Оптическая секция передачи (OTS-n)		
Уровень среды передачи	Оптический транспортный модуль (OTM-n)		

Рисунок 6.1 – Уровневая структура технологии OTN

6.2 Протоколы OTN/OTN

Технология OTN для построения своей иерархии скоростей использует коэффициент мультиплексирования, равный 4. Начальная скорость иерархии скоростей OTN составляет 2,5 Гбит/с. В настоящее время стандартизованы четыре скорости OTN, которые выбраны так, чтобы прозрачным образом передавать как сигналы SDH, так и Ethernet. Иерархия скоростей в технологии OTN приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Иерархия скоростей технологии OTN

Интерфейс G.709	Битовая скорость, Гбит/с	Битовая скорость сигнала нагрузки, Гбит/с
OTU1	$255/238 \times 2\,488\,320 = 2,666\,057\,143$	2,488320
OTU2	$255/237 \times 9,953\,280 = 10,709\,225\,316$	9,953280
OTU3	$255/236 \times 39,813\,120 = 43,018\,413\,559$	39,813120
OTU4	$255/227 \times 99,532\,800 = 111,809\,973\,568$	99,532800

Алгоритм формирования сигнала на уровне оптического канала, предназначенного для передачи клиентского трафика, представлен на рисунке 6.2.

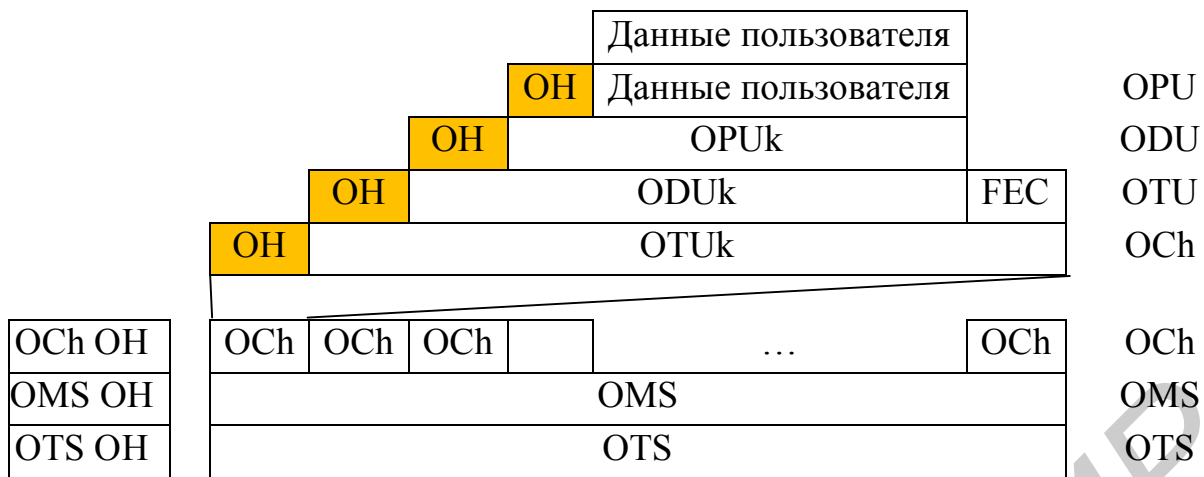


Рисунок 6.2 – Структура сигнала оптического канала

Протокол OPU (Optical Channel Payload Unit – блок пользовательских данных оптического канала) ответственен за доставку данных между пользователями сети. Он занимается инкапсуляцией пользовательских данных, таких, как кадры SDH или Ethernet, в блоки OPU, выравниванием скоростей передачи пользовательских данных и блоков OPU, а на приемной стороне извлекает пользовательские данные и передает их пользователю. В зависимости от скорости передачи данных этому протоколу соответствуют блоки OPU1...OPU4. Для выполнения своих функций протокол OPU добавляет к пользовательским данным свой заголовок OPU OH (OverHead). Блоки OPU не модифицируются сетью.

Протокол ODU (Optical Channel Data Unit – блок данных оптического канала) так же, как и протокол OPU, работает между конечными узлами сети OTN. В его функции входит мультиплексирование и демупльтиплексирование блоков OPU, т. е., например, мультиплексирование четырех блоков OPU1 в один блок OPU2. Кроме того, протокол ODU поддерживает функции мониторинга качества соединений в сети OTN. Этот протокол формирует блоки ODU соответствующей скорости, добавляя к соответствующим блокам OPU свой заголовок.

Протокол OTU (Optical Channel Transport Unit – транспортный блок оптического канала) работает между двумя соседними узлами сети OTN, которые поддерживают функции электрической регенерации оптического сигнала, называемые также функциями 3R (retiming, reshaping и regeneration). Основное назначение этого протокола – контроль и исправление ошибок с помощью кодов FEC. Этот протокол добавляет к блоку ODUk свой концевик, содержащий

код FEC, образуя блок OTUk. Блоки OTUk помещаются непосредственно в оптический канал.

Структура цикла OTN1 показана на рисунке 6.3. Длительность цикла равна 48,971 мкс. Кадр представляется в виде матрицы, состоящей из 4080 столбцов (байтов) и четырех строк, каждая ячейка матрицы – 1 байт.

Кадр состоит из поля пользовательских данных (Payload) и служебных полей заголовков блоков OPU, ODU и OTU. Формат кадра не зависит от уровня скорости OTN (рисунок 6.4), меняется только длительность цикла для передачи данных того или иного уровня (таблица 6.2).

Поле пользовательских данных располагается с 17 по 3824 столбец и занимает все четыре строки кадра, а заголовок блока OPU занимает столбцы 15 и 16 также в четырех строках. При необходимости заголовок OPU OH может занимать несколько кадров подряд (в этих случаях говорят о сверхцикле OTN), например, такой вариант встречается в том случае, когда нужно описать структуру поля пользовательских данных, объединяющую несколько блоков OPU более низкого уровня.

Блок ODU представлен только заголовком ODU OH (формально он также имеет поле данных, в которое помещен блок OPU), а блок OTU состоит из заголовка OTU OH и концевика OTU FEC, содержащего код коррекции ошибок FEC. Начинается кадр с сигнала цикловой синхронизации (поля выравнивания кадра), необходимого для распознавания начала кадра.

Строки	1	6	7	14	15	16	17	3824	3825	4080								
1	FAS	OTU OH		OPU OH		Пользовательские данные Payload			OTU FEC									
2	ODU OH																	
3																		
4																		

Рисунок 6.3 – Формат кадра OTN

Таблица 6.2 – Длительность цикла структур OTN

OTU/ODU/OPU	Длительность цикла, мкс
OTU1/ODU1/OPU1	48,971
OTU2/ODU2/OPU2	12,191
OTU3/ODU3/OPU3	3,035
OTU4/ODU4/OPU4	1,168

В технологии OTN проблема выравнивания скоростей пользовательских потоков данных со скоростью передачи данных мультиплексора решается на основе механизма выравнивания скоростей. Механизм выравнивания скоростей OTN является некоторым гибридом механизма бит-стаффинга технологии PDH и механизма положительного и отрицательного выравнивания на основе указателей (используется в технологии SDH).

Работа механизма выравнивания OTN зависит от того, какой режим отображения нагрузки на кадры OTM поддерживается для данного пользовательского потока – синхронный или асинхронный. В режиме синхронного отображения нагрузки мультиплексор OTM синхронизирует прием и передачу данных от синхроимпульсов, находящихся в принимаемом потоке пользовательских данных. Этот режим рассчитан на пользовательские протоколы, данные которых хорошо синхронизированы и содержат в заголовке специальные биты синхронизации (такие как SDH). В этом случае механизм не задействуется, т. к. скорость передачи данных всегда равна скорости их поступления.

В режиме асинхронного отображения нагрузки мультиплексор OTN синхронизируется от собственного источника синхроимпульсов, который не зависит от пользовательских данных. В этом случае рассогласование скоростей неизбежно, и поэтому задействуется механизм выравнивания: положительного, отрицательного и нулевого.

При формировании блоков ODU используется как байт-синхронное, так и асинхронное мультиплексирование. Общая схема мультиплексирования с указанием сигналов нагрузки и интерфейсов, а также коэффициентов мультиплексирования приведена на рисунке 6.4.

На рисунке приняты следующие обозначения:

- 1G FC – сигнал в соответствии с протоколом FC со скоростью 1 Гбит/с;
- CBR 10G – Constant bit rate – передача данных с постоянной скоростью 10 Гбит/с;

На рисунке 6.5 показан пример асинхронного мультиплексирования четырех блоков ODU1 в один блок ODU2.

В технологии OTN предусмотрен механизм виртуальной конкатенации блоков ODU1/2 для передачи высокоскоростного трафика, скорость которого превышает пропускную способность канала ODU1/2.

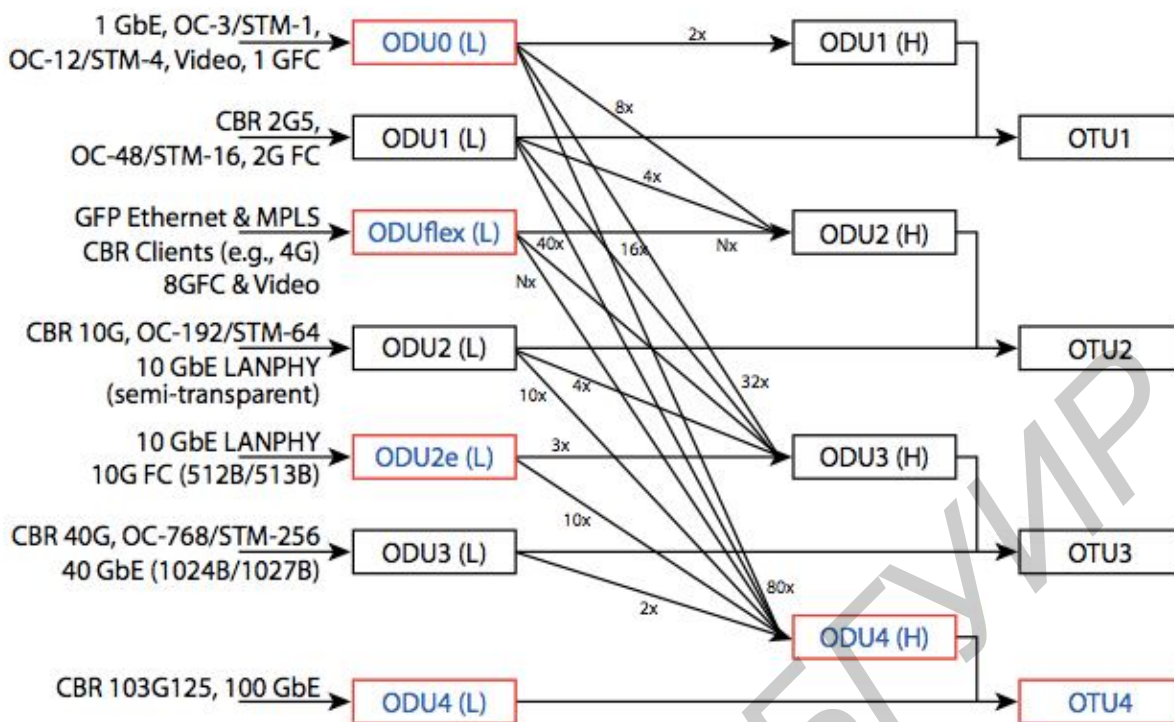


Рисунок 6.4 – Схема мультиплексирования в OTN

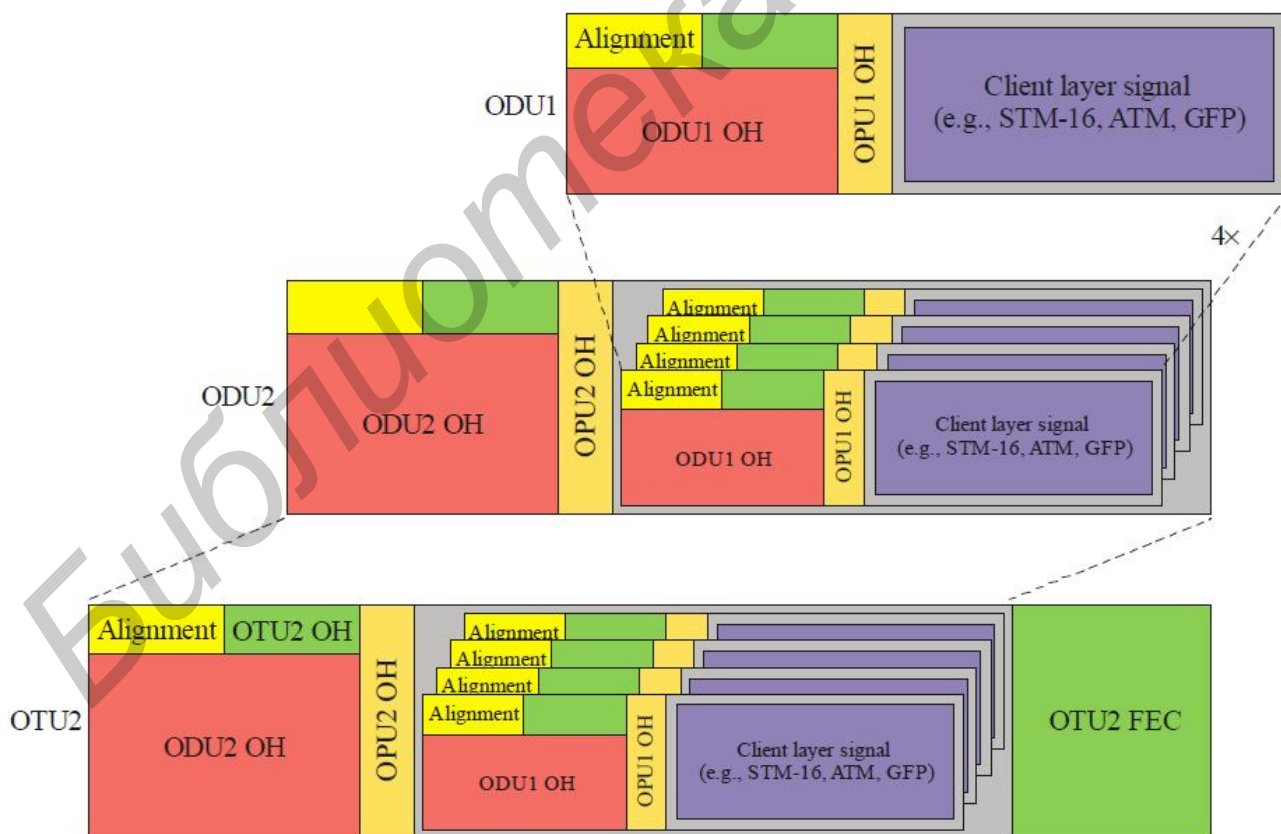


Рисунок 6.5 – Мультиплексирование четырех блоков ODU1 в блок ODU2

Для повышения помехозащищенности в технологии OTN применяется процедура предварительной коррекции ошибок (FEC), в которой используются коды Рида – Соломона RS(255,239). В этом самокорректирующемся коде данные кодируются блоками по 255 байт, из которых 239 байт являются пользовательскими, а 16 байт представляют собой корректирующий код. Коды Рида – Соломона позволяют исправлять до восьми ошибочных байт в блоке из 255 байт. Применение кода Рида – Соломона позволяет улучшить отношение мощности сигнала к мощности шума на 5 дБ при уровне битовых ошибок в 10^{-12} . Этот эффект дает возможность увеличить расстояние между регенераторами сети приблизительно на 20 км или использовать менее мощные передатчики оптического сигнала.

Уровень оптических секций базируются на ресурсах одномодовых оптических волокон со стандартными характеристиками и потенциальной пропускной способностью до 60 ТГц в диапазоне длин волн 1260...1675 нм (для различных типов волокон). Этот диапазон используется в режиме спектрального уплотнения (WDM). При этом число волновых каналов может быть от 2–4 до нескольких сотен, объединяемых мультиплексорами (OMX) в оптические волновые (транспортные) модули OTM (Optical Transport Module) емкостью до 16 оптических каналов в каждом. Таким образом, в этой модели транспортной сети скорость передачи позволяет достигать порядка 10 Тбит/с и более при скорости передачи в каждом из волновых каналов от 2,5 до 100 Гбит/с.

Структурная схема транспортной модели OTN показана на рисунке 6.6.

7 ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ ETHERNET

Одной из технологий транспортных сетей, стандартизированной МСЭ-Т, является транспортная модель Ethernet. Собственно технология Ethernet, как известно, была разработана для обмена файлами между компьютерами в локальной сети при использовании медных кабелей и протокола передачи данных с множественным доступом и обнаружением коллизий, т. е. состояний, когда по одной направляющей системе одновременно начинают передачу два и более компьютера. В таком качестве эти сети используются и сегодня на коротких расстояниях, как правило, не превышающих 100 метров. Появление быстродействующих пакетных коммутаторов и волоконной оптики позволило резко увеличить скорости передачи пакетов (от 10 Мбит/с до 100, 1000 Мбит/с, 10 и 100 Гбит/с) и расстояние передачи (от десятков метров до сотен километров).

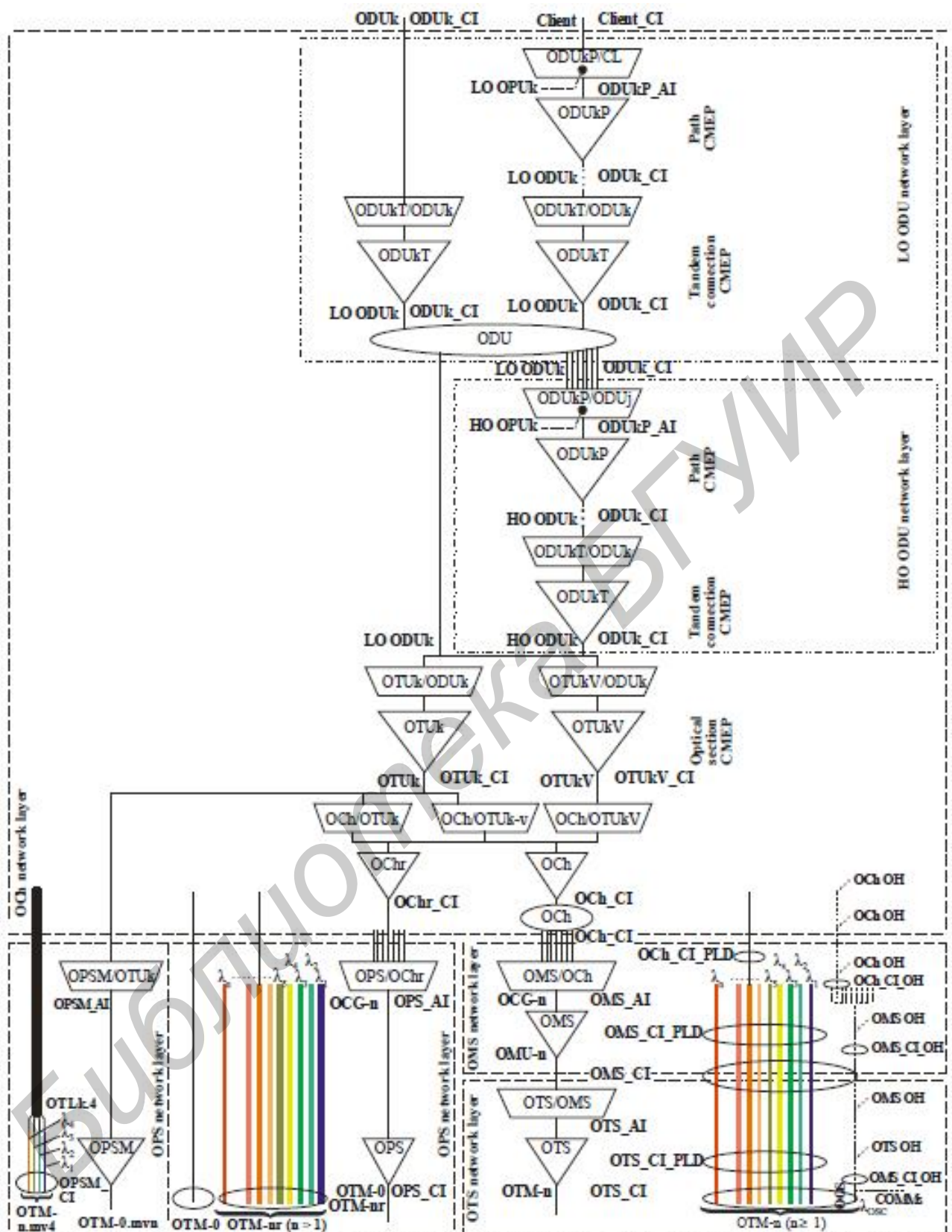


Рисунок 6.6 – Модель транспортной сети OTN

Модель транспортной сети Ethernet описана в Рекомендации МСЭ-Т G.8010 и состоит из двух уровней (рисунок 7.1): уровня формирования кадров Ethernet (уровня MAC Ethernet (ETH)) и уровня среды передачи кадров Ethernet (уровня PHY Ethernet (ETU)).

Сеть уровня ETH является сетью уровня трактов. Сеть уровня ETU является сетью уровня участков. Характеристическая информация сети уровня ETH может транспортироваться по каналам ETH, поддерживаемым трассами в серверных сетях уровня (например, ETU, СЦИ VC-n, OTN ODUk, MPLS, ATM).

Сеть уровня MAC Ethernet (ETH) обеспечивает транспортирование адаптированной информации через трассу без установления соединения ETH между точками доступа ETH. Адаптированная информация представляет собой поток блока данных MAC (IEEE 802.3).

Уровень формирования кадров Ethernet (ETH)	Управление логическим каналом
	Управление доступом к среде передачи
Уровень среды передачи (ETU)	ETU, PDH, SDH, OTN, MPLS, ATM

Рисунок 7.1 – Уровневая структура технологии Ethernet

Пример сети уровня ETH, содержащей функции обработки процесса транспортирования, транспортные объекты, топологические компоненты и эталонные точки, показан на рисунке 7.2, где для трассы без установления соединения ETH приняты следующие обозначения:

- источник и приемник окончания потока ETH (ETH FT – Flow Termination);
- поток сети (NF – Network Flow) ETH;
- поток канала (LF – Link Flow) ETH;
- поток области потока (FDF – Flow Domain Flow) ETH;
- область потока (FD – Flow Domain) ETH;
- точка доступа (AP – Access Point) ETH;
- точка потока (FP – Flow Point) ETH;
- конечная точка потока (TFP – Termination Flow Point) ETH.

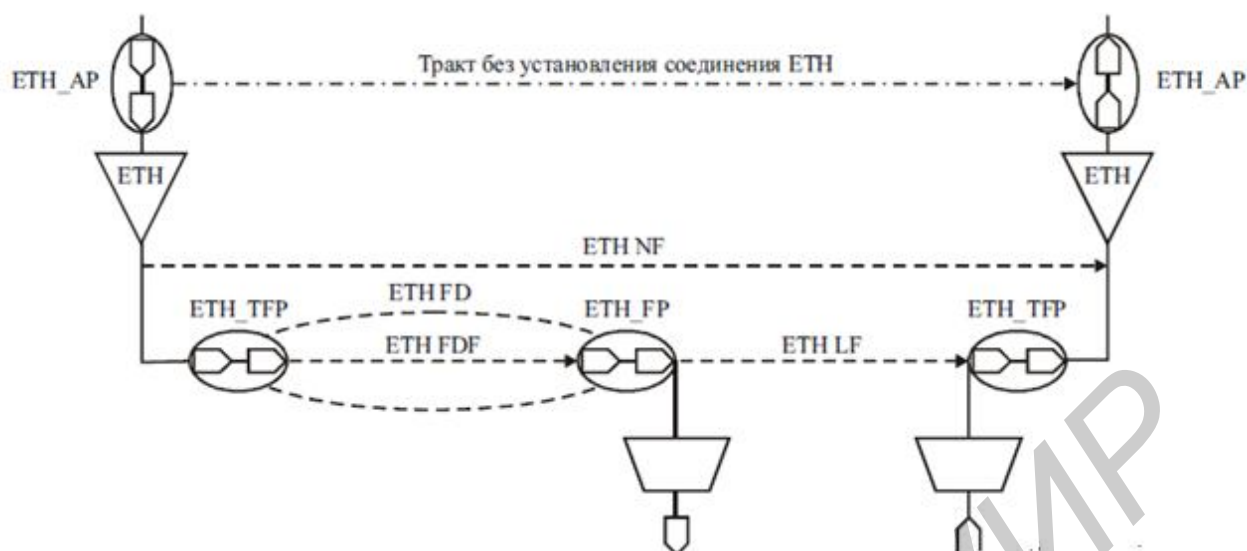


Рисунок 7.2 – Пример сети уровня ЭТН

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 – все это исполняет уровень формирования кадров. Также он обеспечивает интерфейс с источниками информационных данных (вторичными сетями, например, сетями IP, MPLS и т. д.).

Сеть уровня РНУ Ethernet (ЕТУ) обеспечивает транспортирование адаптированной характеристической информации ЭТН по трассе ЕТУ_n между точками доступа. Адаптированная информация представляет собой непрерывный поток битов в соответствующем линейном коде, как определено в IEEE 802.3 и IEEE 802.3ae. Характеристическая информация ЕТУ_n является физическим сигналом участка, который должен транспортироваться через среду связи (например, оптическое волокно, медный кабель).

Сеть уровня ЕТУ_n (рисунок 7.3) содержит следующие функции обработки процесса транспортирования, транспортные объекты и топологические компоненты:

- трасса EYn;
- источник и приемник окончания трассы EYn (EYn_ТТ – Trail Termination);

- соединение сети EYn (NC);
- соединение канала EYn (LC);

Собственно канал EYn на рисунке 7.3 не показан.

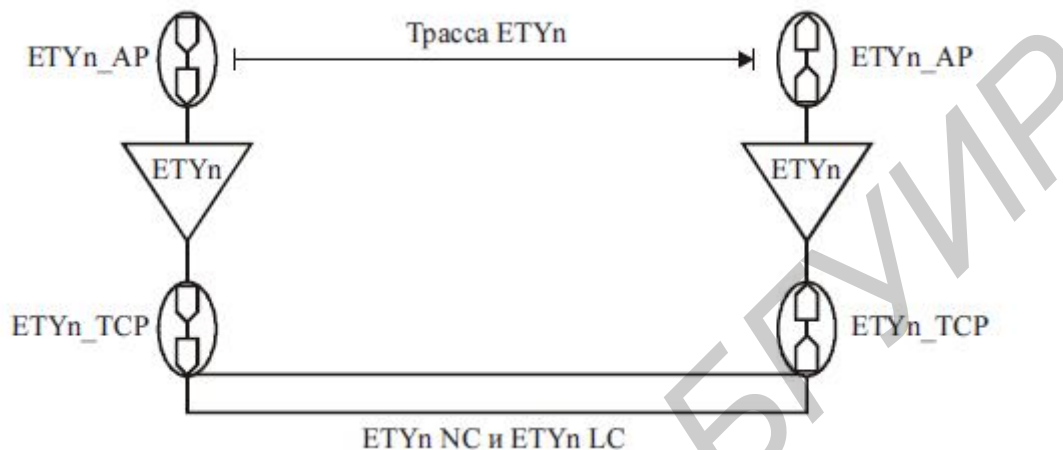


Рисунок 7.3 – Пример сети уровня EYn

Характеристической информацией сети уровня EYn является цифровой, оптический или электрический (кодированный) сигнал с определенной мощностью, скоростью передачи (от 10 Мбит/с до 100 Гбит/с), длительностью импульса и длиной волны оптического излучения, транспортируемый через физическую среду связи.

Уровень среды передачи Ethernet может быть реализован на базе медных или оптических кабелей, радиолиний и атмосферных оптических линий с использованием соответствующих приемопередатчиков.

Транспортировка кадров Ethernet в транспортной среде в соответствии с Рекомендацией G.8012 может осуществляться с наблюдением транспортного тракта из конца в конец EHP (Ethernet end-to-end path) и с сегментным мониторингом EHS (Segment monitoring). Варианты транспортировки стандартизированы (рисунок 7.4) также для технологий PDH, SDH, OTN, MPLS, ATM (EoPDH, EoSDH, EoOTN, EoMPLS, EoATM).

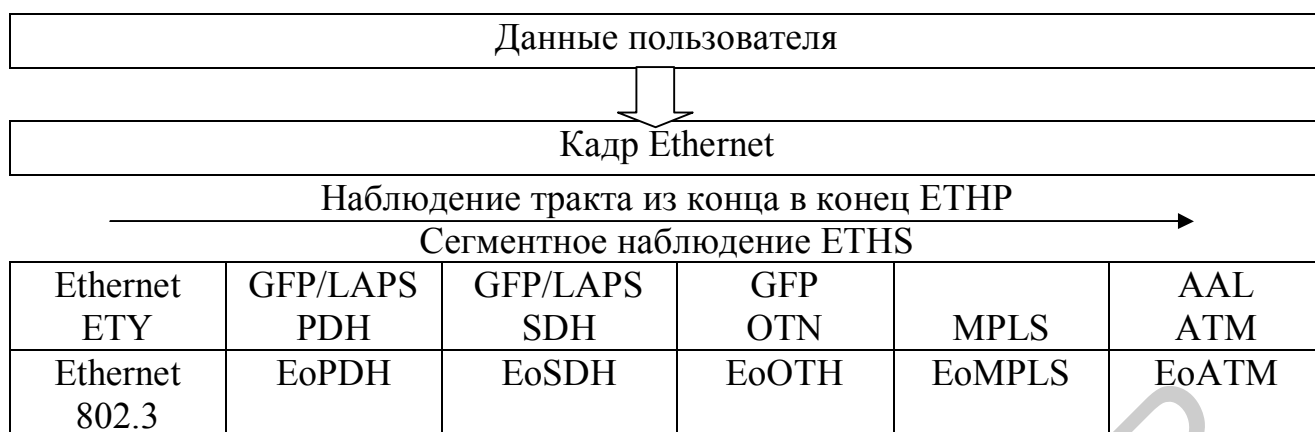


Рисунок 7.4 – Интерфейсы транспортной сети Ethernet

Следующим этапом развития модели транспортной сети на основе технологий с коммутацией пакетов стала модель транспортной сети с 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.81xx и подробно будут рассмотрены в другом издании.

8 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Для современного развития транспортных сетей характерна интеграция всех функциональных возможностей, заложенных в модели и технологиях. Это ведет к созданию универсальных транспортных платформ с электрическими и оптическими интерфейсами, электрической и оптической коммутацией каналов и пакетов, что обеспечивает предоставление любых видов транспортных услуг.

На рисунке 8.1 представлено отображение рассмотренных моделей и технологий в общей архитектуре транспортной платформы. Здесь в качестве возможных источников информационной нагрузки указаны трафик, передаваемый в режиме с временным разделением каналов (поддерживает технологии с коммутацией каналов), и трафик, передаваемый в режиме пакетной коммутации.

На рисунке 8.1 приняты следующие обозначения:

- PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy – плезиохронная цифровая иерархия (иерархические скорости 2,048, 8,448, 34,368 и 139,264 Мбит/с);

- SDH, Siochronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия (иерархические скорости от 155,520 до 39 813,12 Мбит/с с коэффициентом мультиплексирования 4);

- IP, Internet Protocol – протокол передачи пакетов;
- MPLS – протокол уровня 2,5 в соответствии с моделью OSI, используемый для передачи пакетов в транспортных сетях в режиме туннелирования;
- PPP, Point-to-Point Protocol – протокол «точка-точка»;
- HDLC, High-level Data Link Control – высокоуровневый протокол управления на уровне звена передачи данных;
- GFP, Generic Framing Procedure – общая процедура инкапсуляции данных, предназначена для упаковки кадров различных протоколов компьютерных сетей в кадр единого формата и передачи его по сетям PDH и SDH;

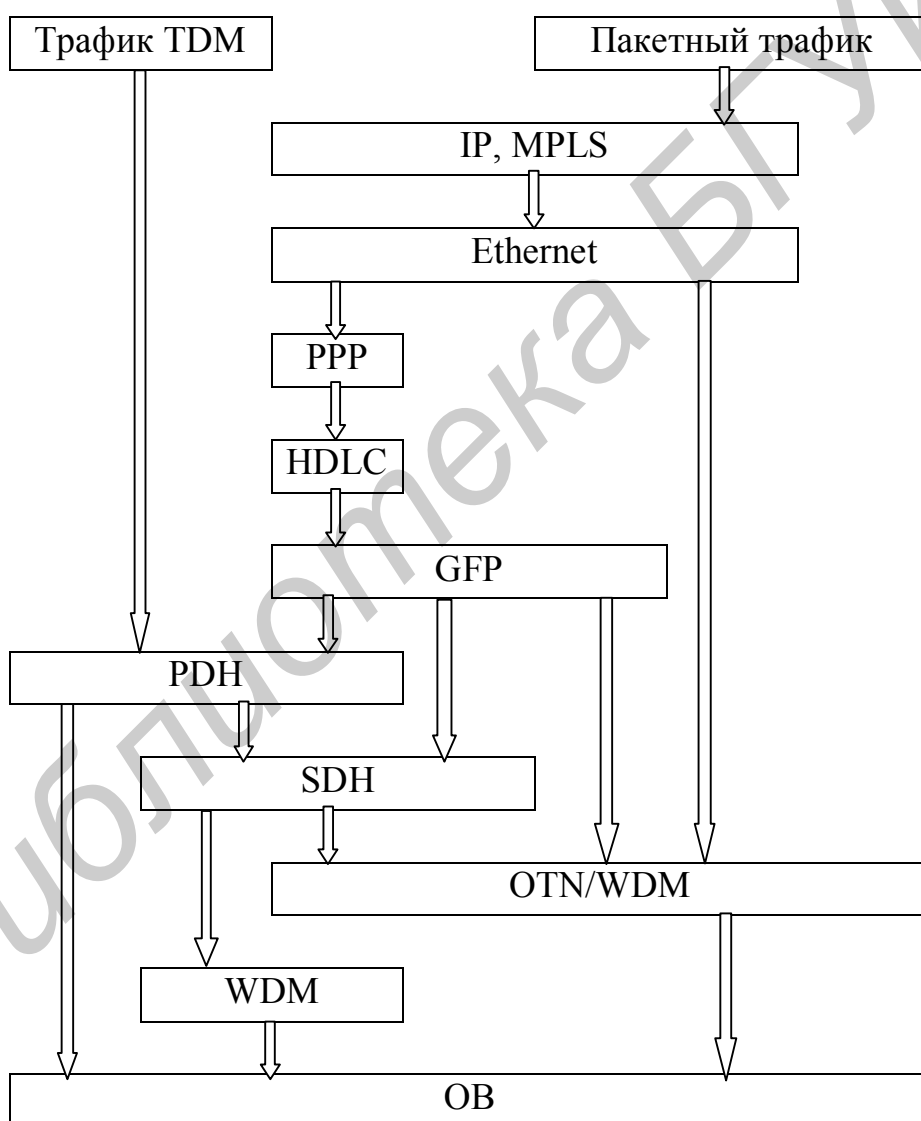


Рисунок 8.1 – Обобщенная архитектура оптической транспортной платформы

- WDM, Wavelength Division Multiplexing – технология спектрального уплотнения оптических каналов. В зависимости от разноса между оптическими несущими спектральное уплотнение может быть: грубым – CWDM (Coarse WDM) – с разносом оптических каналов не менее 200 ГГц, плотным – DWDM (Dense WDM) – с разносом оптических каналов не менее 100 ГГц, высокоплотным HDWDM (High Dense WDM) – с разносом оптических каналов не более 50 ГГц. Частотный план для систем WDM определен в Рекомендациях МСЭ-Т G.694.1 и G.694.2.

- OTN, Optical Transport Network – технология оптических транспортных сетей.

Протоколы PPP, 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 SDH или оптических каналов в сети OTN.

В завершение необходимо еще раз отметить, что модели транспортных сетей в соответствии с уровневой моделью взаимодействия открытых систем OSI/ISO, реализованы, как правило, на двух нижних уровнях модели OSI: физическом (L1) и канальном (L2).

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение телекоммуникационной системе. Укажите ее основные свойства.
- 2 Для чего используется модель взаимодействия открытых систем (модель OSI)?
- 3 Укажите уровни модели OSI и ее основные функции.
- 4 Какие уровни модели OSI образуют систему сети и почему?
- 5 Какие форматы передачи данных существуют и на каких уровнях модели OSI применяются?
- 6 В чем отличие транспортной сети от сети доступа? Какие особенности характерны для транспортной сети?
- 7 Укажите основные уровни модели транспортной сети. Какие основные элементарные функции выполняются на каждом уровне?
- 8 Какие преобразования сигнала осуществляются при выполнении той или иной элементарной функции?
- 9 Поясните механизм передачи данных по протоколу Ethernet по трактам PDH.

- 10 Укажите основные уровни транспортной сети SDH.
- 11 Поясните механизм передачи данных по протоколу Ethernet по трактам SDH.
- 12 Поясните термин «конкатенация». В чем особенности смежной и виртуальной конкатенаций?
- 13 Каков шаг изменения пропускной способности тракта при смежной конкатенации и почему?
- 14 Каков шаг изменения пропускной способности тракта при виртуальной конкатенации и почему?
- 15 Какая требуется пропускная способность трактов SDH при смежной и виртуальной конкатенации для передачи данных со скоростью 10 Гбит/с?
- 16 Какие кадры используются в протоколе HDLC? Каковы их назначение и структура?
- 17 Какие особенности характерны для протокола PPP? Какова структура кадра?
- 18 Отметьте назначение и особенности протокола GFP.
- 19 Укажите основные уровни протокола GFP, структуру кадра.
- 20 В чем отличие кадров GFP-T от кадров GFP-F?
- 21 В чем особенности протокола LCAS?
- 22 Какие характеристики технологии SDH ограничивают ее использование в транспортных сетях?
- 23 Какие основные преимущества технологии OTN по сравнению с технологиями PDH, SDH, Ethernet?
- 24 Укажите основные уровни технологии OTN, их назначение.
- 25 Укажите основные протоколы технологии OTN, их назначение, структуру блоков данных.
- 26 Опишите схему мультиплексирования в технологии OTN.
- 27 Укажите особенности использования технологии Ethernet в транспортных сетях.

Литература

- 1 Воробьев, В. Тенденции эволюции транспортных сетей / В. Воробьев [Электронный ресурс]. – 21.01.2011. – Режим доступа: <http://nag.ru/articles/article/20069/tendentsii-evolyutsii-transportnyih-setey.html>.
- 2 Коган, С. С. Пакетные оптические транспортные сети: инновационные решения компании Alcatel-Lucent / С. С. Коган // Электросвязь. – 2008 – №12. – С. 70–74.
- 3 Меккель, А. М. Нужна ли полностью оптическая транспортная сеть в эпоху NGN? / А.М. Меккель // Электросвязь. – 2008 – №10. – С. 19–22.
- 4 Гольшко, А. Несколько штрихов к транспорту будущего / А. Гольшко, А. Шалагинов // Вестник связи. – 2011. – №4. – С. 42–48.
- 5 Катлеров, П. Технология Ethernet-over-PDH / П. Катлеров // Компоненты и технологии. – 2007. – №4. – С. 144–147.
- 6 Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2010. – 944 с.
- 7 ITU-T Recommendation G.7041/Y.1303 (04/2011). Generic framing procedure.
- 8 ITU-T Recommendation G.7043/Y.1343 (07/2004). Virtual concatenation of plesiochronous digital hierarchy (PDH) signals.
- 9 ITU-T Recommendation G.707/Y.1322 (01/2007). Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).
- 10 ITU-T Recommendation G.709/Y.1331 (02/2012). Interfaces for the optical transport network (OTN).
- 11 ITU-T Recommendation G.8010/Y.1306 (02/2004). Архитектура сетей уровня Ethernet.
- 12 ITU-T Recommendation G.8012/Y.1308 (08/2004). Ethernet UNI and Ethernet NNI.
- 13 ITU-T Recommendation G.8040/Y.1340 (09/2005). Отображение кадров общей процедуры формирования кадров (ОПФК) в сигналы плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ).
- 14 ITU-T Recommendation G.806 (02/2012). Characteristics of transport equipment – Description methodology and generic functionality.
- 15 ITU-T Recommendation G.809 (03/2003). Functional architecture of connectionless layer networks.
- 16 ITU-T Recommendation G.805 (03/2000). Generic functional architecture of transport networks.

Учебное издание

Бунас Виталий Юрьевич
Тарченко Надежда Владимировна
Урядов Владимир Николаевич

**ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *М. А. Зайцева*
Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *В. М. Задоля*

Подписано в печать 25.11.2013. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 3,84. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 100 экз. Заказ 200.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П.Бровки, 6