

Узбекское агентство связи и информатизации
Ташкентский университет информационных технологий

На правах рукописи

Степанова Дарья Александровна

«Исследование оптических транспортных сетей на основе пакетной коммутации»

Специальность: 5А522203 Оптические системы связи и обработки информации

Диссертация

На соискание академической степени магистра

Работа рассмотрена
и допускается к защите
Зав. кафедрой
«Телекоммуникационные системы
передачи»
к.т.н., доцент
Исаев Р.И. _____
«___»_____2010 г.

Научный руководитель
к.т.н., доцент
Парпиев М.П. _____

Ташкент 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ	
1.1. Анализ принципов построения оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе SDH технологии.....	11
1.1.1. Модель транспортной оптической сети на основе SDH технологии.....	12
1.1.2. Основные принципы построения сетей SDH.....	15
1.1.3. Особенности построения циклов передачи сигналов синхронных цифровых систем передачи.....	17
1.1.4. Преимущества и недостатки систем передачи и сетей SDH.....	20
1.2. Анализ принципов построения оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе технологии поверх SDH.....	22
1.2.1. Противостояние технологий IP и ATM.....	25
1.2.2. Протоколы оптической транспортной сети	34
Выводы и постановка задачи.....	43
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ПОВЕРХ SDH	
2.1. Исследование трафика оптических транспортных сетей телекоммуникаций.....	45
2.1.1. Анализ трафика телекоммуникаций.....	45
2.1.2. Типы трафика и требования к качеству обеспечения его обслуживания.....	47
2.2. Принципы построения оптических транспортных сетей телекоммуникаций поверх SDH.....	52
2.2.1. Отображение моделей и технологий транспортных сетей в оптических мультисервисных транспортных платформах.....	53

2.2.2. Технология NGSDH.....	56
2.2.3. Автоматически коммутируемые транспортные сети ASON.....	61
2.3. Исследование принципов построения полностью оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе технологии поверх SDH.....	64
2.3.1. Классы полностью оптических транспортных сетей.....	66
2.3.2. Полностью оптические сети с коммутацией пакетов.....	68
2.3.3. Оптические транспортные сети OTN.....	72
Выводы.....	75
3. ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХ SDH	
3.1. Анализ качественных показателей оптических транспортных сетей телекоммуникаций.....	76
3.1.1. Общие параметры синхронных линейных трактов.....	77
3.1.2. Контроль качества функционирования систем передачи и сетей SDH.....	79
3.1.3. Контроль ошибок, неисправностей и параметров.....	85
3.2. Исследование технологии пакетной коммутации на уровне транспортных сетей.....	87
3.2.1. Буферы и очереди.....	88
3.2.2. Задержки в транспортной сети с коммутацией пакетов.....	89
3.2.3. Исследование коммутатора пакетов на примере коммутатора ATM.....	93
3.3. Методы оценки качества передачи информации в оптических транспортных сетях телекоммуникаций на основе пакетной коммутации.....	94
3.3.1. Классификация методов оценки качества каналов с коммутацией пакетов.....	94

3.3.2. Методы оценки качества пакетных коммутаторов в оптической транспортной сети.....	96
3.3.3. Функциональная модель пакетного коммутатора.....	105
Выводы.....	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	112
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ	

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в Республике Узбекистан сфера связи и информатизации становится одной из важнейших инфраструктур страны и ей принадлежит особая роль во многих отраслях деятельности общества. Как показывает международный опыт, целый ряд новых проблем и задач в инфокоммуникациях возникает в результате интенсивного роста объема трафика данных, который в развитых странах превысил уже голосовой трафик, и перехода от технологий, базирующихся на традиционной коммутации каналов, к высокоскоростным технологиям на основе коммутации пакетов и организации новых служб передачи данных.

Учитывая сложившиеся тенденции, и выделяя развитие информационно-коммуникационных аппаратуры в качестве стратегического приоритета экономического развития и повышения уровня благосостояния народа, Правительство Узбекистана, своими Постановлениями Кабинета Министров Республики Узбекистан № 307 от 1 августа 1995г. «Национальная программа реконструкции и развития телекоммуникационной сети Республики Узбекистан», № 18 от 26 мая 1996 года 2 «О программе развития социальной инфраструктуры села Республики Узбекистан», № 200 от 6 июня 2002 г. «О мерах по дальнейшему развитию компьютеризации и внедрению информационно-коммуникационных аппаратуры» определила приоритетные направления развития информационно-коммуникационных технологий:

- Развитие инфраструктуры телекоммуникаций
- Развитие национального сегмента сети Интернет
- Оснащение компьютерной техникой и развитие компьютерных сетей
- Создание индустрии программных продуктов
- Формирование и использование информационных ресурсов
- Подготовка кадров в области информационно-коммуникационных технологий.

- Развитие конкурентной среды в сфере ИКТ
- Совершенствование нормативно-правовой базы, стандартизации и сертификации

Программой развития местных телекоммуникационных сетей на период 2000 – 2010 годы были предусмотрены: ежегодный прирост основных телефонных аппаратов на 3%, ввод цифровых АТС емкостью 749,052 тыс. номеров, проведение реконструкции аналоговых телефонных станций со сроком эксплуатации свыше 15-20 лет.

Рост пакетного трафика показал, что нужно иметь возможность не просто использовать механизм инкапсуляции пакетного трафика в транспортные модули, а уже в самом транспорте, с операторским качеством и надежностью, с возможностью четкого контроля характеристик, работать с пакетами. При этом, оптический уровень должен быть прозрачным и гибким, чтобы мы могли управлять лямбда-каналами так, как это делается в SDH. Что же касается скорости, то, если раньше мы говорили о 10 Гбит/с на оптический лямбда-канал, сегодня у нас уже есть 40 Гбит/с, а в будущем будет освоен рубеж в 100 Гбит/с на канал. В конечном итоге, мы идем к построению новых гибридных узлов, способных всю пакетную информацию передавать гибко на любом уровне: электрическом, оптическом, программном, управляемом.

Для внедрения новейших технологий необходима мощная стабильная основа. Транспортные сети являются каркасом при построении сетей связи. Развитие именно этого сегмента отрасли дает возможность реализации высокоскоростных мультисервисных сетей телекоммуникаций.

Транспортные оптические сети, построенные на базе стандартов SDH, развиваются благодаря применению технологий NG-SDH, ATM, GFP, MPLS и OTN, что обеспечивает плавный переход от TDM-сетей к пакетным сетям.

На базе технологии SDH создается универсальная транспортная сеть, которая является высшим достижением для систем с канальным разделением

ресурсов сети. Системы передачи SDH постоянно совершенствуются в соответствии с требованиями времени. Современное оборудование позволяет интегрировать технологию SDH с другими существующими и новыми технологиями, обеспечивая транспортирование различных видов трафика.

Наиболее перспективным для развертывания мультисервисных сетей доступа поверх существующих SDH транспортных сетей будет оборудование, построенное на основе этой же технологии. Однако, по своей идеологии оно должно отличаться от транспортного оборудования SDH за счет развитого набора ориентированных на область применения функциональных свойств:

- возможность межсетевого взаимодействия (interoperability);
- мультисервисность;
- высокая эффективность транспортной сети;
- модульность и гибкость оборудования;
- единая система мониторинга и управления сетью.

Для преодоления этих ограничений, производители SDH оборудования пошли по пути создания систем SDH следующего поколения (Next Generation SDH, NG SDH). Оборудование NG SDH имеет интегрированные интерфейсы передачи данных, а также использует новые технологии, которые позволяют более эффективно выделять требуемую полосу для служб данных и обеспечивать низкую стоимость внедрения этих технологий в уже существующие сети, так как поддержка дополнительной функциональности требуется только на граничных узлах сети.

Ключевыми моментами технологии оптических транспортных сетей поверх SDH и факторами, которые влияют на современное развитие этого уровня технологии являются:

Во-первых, необходимо выделить многообразие технических решений, протоколов, подходов. В транспортной сети присутствуют самые разные

типы связей: от виртуальных коридоров до схем групповой рассылки, различные технологии, уровни и протоколы.

Во-вторых, трафик в современной транспортной сети является динамичным и не может быть описан простыми моделями или схемами «точка-точка» и «точка-многоточка». В сети имеют место каналы обмена данными, виртуальные туннели симметричного или асимметричного типа. В то же время имеются вещательные каналы, а также каналы групповой рассылки.

В-третьих, все технологии транспортной сети не только сосуществуют в рамках единого «облака», но взаимно конкурируют за ресурс различных систем передачи, которые используются в транспортных сетях.

Выше сказанное заключает о важности развития транспортных волоконно-оптических сетей связи.

Актуальность темы. Бурное развитие современных технологий передачи данных, диктуемое ростом пакетизированного трафика, и необходимость роста скоростей и пропускной способности оптических транспортных сетей требуют модернизации последних. Тенденции создания сетей следующего поколения ведут к созданию мультисервисных транспортных платформ и сокращению уровней иерархии транспортных сетей. Вследствие чего необходимо исследование и внедрение оптических транспортных сетей с коммутацией пакетов и создание на их основе полностью оптических прозрачных транспортных сетей связи.

Целью работы является исследование оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе пакетной коммутации.

Задачи, решаемые в магистерской диссертации:

1. Изучить принципы построения оптических транспортных сетей телекоммуникаций;
2. Сравнить технологии пакетной коммутации, применяемые в оптических транспортных сетях;

3. Проанализировать телекоммуникационный трафик и выявить его влияние на развитие транспортных сетей;

4. Исследовать качественные показатели оптических транспортных сетей телекоммуникаций;

5. Определить методы оценки качества передачи информации в оптических транспортных сетях на базе пакетной коммутации.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- исследованы и проанализированы оптические транспортные сети на базе пакетной коммутации;

- охарактеризованы принципы работы основных технологий, позволяющих передавать пакетный трафик непосредственно по оптическим транспортным сетям телекоммуникаций с учетом конвергенции сетей связи;

- проведен анализ трафика услуг телекоммуникаций и выявлено его влияние на развитие и внедрение технологий передачи данных в транспортных сетях связи;

- исследованы основные факторы, влияющие на качество передачи информации в оптических транспортных сетях телекоммуникаций;

- разработаны и систематизированы методы оценки качественных показателей оптических транспортных сетей с пакетной коммутацией.

Апробация : Основные результаты диссертации освещались: на Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и одарённых студентов «Ахборот-коммуникация технологиялари», Ташкент 2010 г., и на VII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов государств участников регионального содружества в области связи, Алматы 2009 г.

Практическая ценность.

1. Даны рекомендации по применению технологий передачи данных поверх оптических транспортных сетей телекоммуникаций;

2. Предложен сценарий миграции к полностью оптическим транспортным сетям на базе пакетной коммутации;

3. Разработана методика оценки качественных показателей оптических транспортных сетей с пакетной коммутацией.

Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, приложения. Работа изложена на 115 страницах, иллюстрирована 59 рисунками и содержит 8 таблиц. Список литературы включает 37 наименований. В приложении приведены слайды электронной презентации.

1. ОБЗОР И АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

1.1. Анализ принципов построения оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе SDH технологии

SDH изначально создавалась для передачи большого числа относительно низкоскоростных цифровых каналов (E1, E2, E3). Однако в новых поколениях SDH реализованы методы (сцепка виртуальных контейнеров), позволяющие передавать и высокоскоростные потоки любого трафика (ATM, IP) на скоростях вплоть до 10 Гбит/с. За счет этого TDM-трафик телефонных сетей и трафик данных передаются интегрировано и оборудование SDH приобрело мультисервисные свойства. Немаловажное значение имеет высокая отказоустойчивость и малое время восстановления работоспособности SDH-сетей.

Технология получила массовое распространение — на сегодняшний день в мире построено более 150 тыс. сетей SDH и около 150 тыс. сетей SONET в США. Таким образом, SDH можно считать доминирующей технологией в магистральных сетях и сетях масштаба города (Metropolitan Access Network — MAN). Дополнительным достоинством SDH является существенное снижение стоимости решений, которое произошло в результате наращивания объемов производства этого оборудования.

Несомненными достоинствами технологии SDH являются [3]:

- 1) международная стандартизация в рамках рекомендаций ITU-T, стандартов Европейского института стандартов по связи ETSI и Международной организации по стандартизации ISO;
- 2) наличие автоматического резервирования различных видов, обеспечивающего высокую надежность и живучесть (отказоустойчивость) сетей;

3) развитые средства автоматического контроля, обслуживания и программного управления.

1.1.1. Модель транспортной оптической сети на основе SDH технологии

Модель транспортной сети SDH представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень среды передачи; уровень трактов (маршрутов передачи информации); уровень каналов.

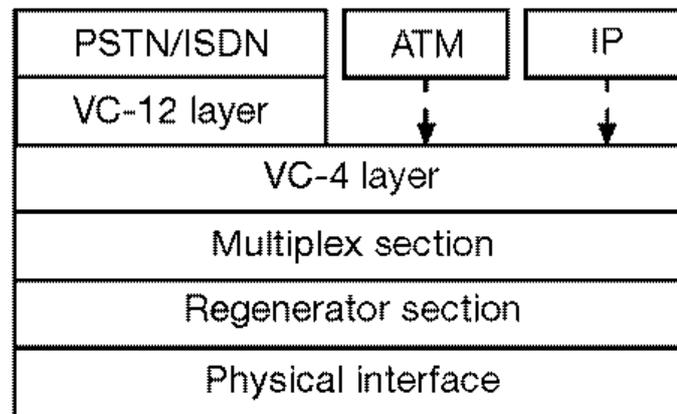


Рис. 1.1. Многослойная модель SDH

Уровень среды передачи (рис.1.1.2.) базируется преимущественно на оптоволоконных линиях (среда передачи), в которых создаются секции регенерации цифровых линейных сигналов и секции мультиплексирования цифровых данных, поддерживаемые соответствующими секционными заголовками RSOH (Regeneration Section Overhead) и MSOH (Multiplex Section Overhead). Среда передачи содержит: стекловолокна, электрооптические преобразователи на передаче и оптоэлектронные преобразователи на приеме; оптические усилители, оптические аттенюаторы и компенсаторы дисперсии; разъёмные и неразъёмные оптические

соединители; линейные кодеры и декодеры; оптические модуляторы и оптические детекторы.

Секцией мультиплексирования начинается и заканчивается участок волоконно-оптической системы передачи. Секция мультиплексирования может содержать от одного до нескольких участков – секций регенерации, которые необходимы для устранения искажений линейных импульсных сигналов и восстановления их формы и мощности. Секции регенерации и мультиплексирования являются предметом проектных расчетов в интерфейсных точках подключения передачи S и приёма R, построений и технической эксплуатации.

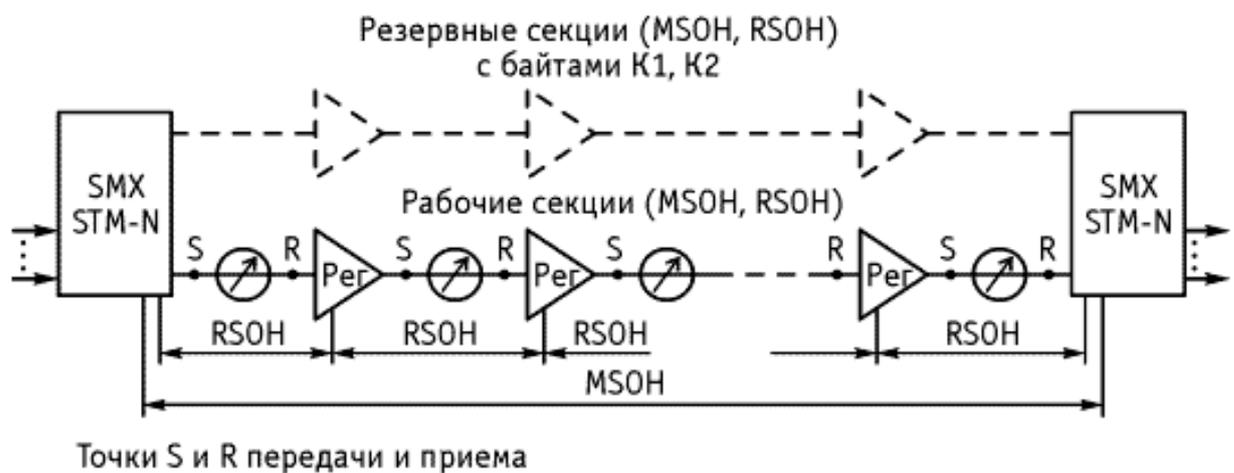


Рис.1.2. Уровень среды передачи SDH

Уровни трактов сети SDH представлены двумя плоскостями: высокого и низкого уровней (порядков), стандартно обозначаемых в технической литературе: HOV-C (Higher Order Virtual Container) – виртуальный контейнер высшего уровня и LOV-C (Lower Order Virtual Container) – виртуальный контейнер низшего уровня.

Виртуальные контейнеры высокого и низкого уровней представляют собой циклические цифровые ёмкости, предоставляемые под загрузку информационными данными с подходящими скоростями. [4]

Маршруты в оптической транспортной сети определяются номиналами несущих частот оптического диапазона. При этом частота может быть одной и той же или изменяться на разных участках сети, однако маршрут следования информационных данных сохраняется.[3]

Благодаря непрерывной циклической передаче виртуальных контейнеров может поддерживаться однонаправленное и двунаправленное транспортное соединение – тракт или маршрут, рассчитываемое на различную пропускную способность в интересах потребителей транспортных услуг.

Таблица 1.1

Иерархия виртуальных контейнеров в SDH [3]

VC-тип	VC-нагрузка, кбит/с	Шаг, кбит/с
VC-11	1600	
VC-12	2176	
VC-2	6784	
VC-3	48384	
VC-4	149760	
VC-4-4с	599040	
VC-4-16с	2396160	
VC-4-64с	9584640	
VC-4-256с	38338560	
VC-11- X_v , $X=1...64$	1600...102400	1600
VC—12- X_v , $X=1...63$	2176...137088	2176
VC—2 X_v , $X=1...21$	6784...142464	6784
VC-3- X_v , $X=1...3$	48384...145152	48384
VC-4- X_v , $X=1...256$	149760...38338560	149760

Уровень каналов сети SDH обеспечивает интерфейсы для пользователей транспортной сети. Учитывая, что транспортная сеть SDH

является частью опорной сети связи, на уровне каналов производится согласование с сетями доступа. Все процедуры формирования цифровых блоков SDH происходят с использованием единого высокостабильного тактового механизма – тактовой сетевой синхронизации (ТСС). [4]

Транспортные сети, построенные в соответствии с различными моделями, совместимы между собой на уровнях каналов или трактов.

1.1.2. Основные принципы построения сетей SDH

Цифровые транспортные сети SDH строятся по территориальному принципу и подразделяются на местные, внутризоновые, национальные и международные. Указанные сети могут быть разделены на еще более мелкие части, например, транзитные сети, сети доступа [1].

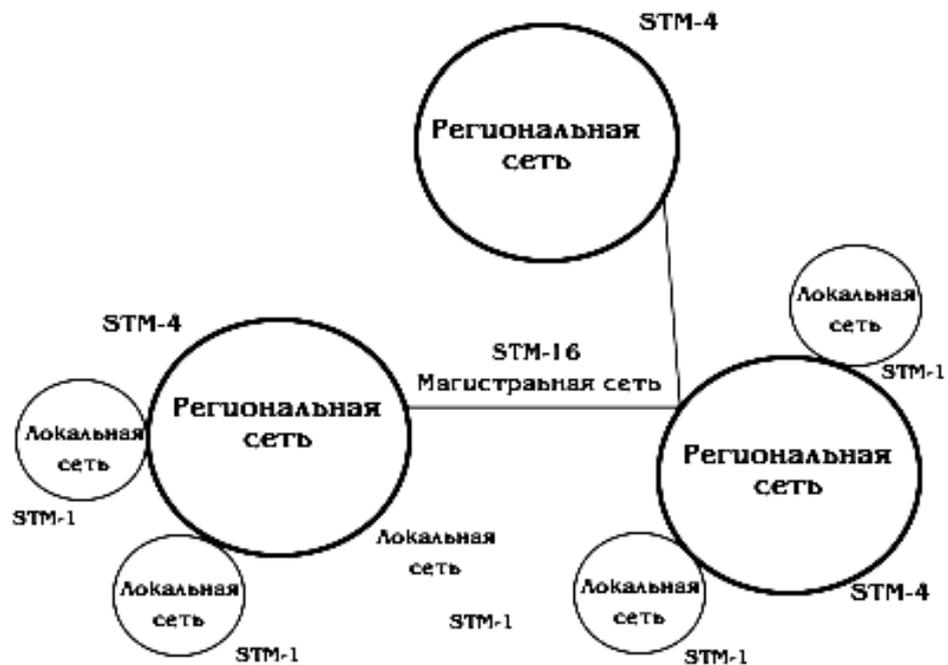


Рис. 1.3. Иерархичное построение транспортной сети SDH

Такое деление позволяет:

- 1) наиболее полно и точно определить структуру и уровень сети;

2) быстро организовать и устойчиво управлять действиями персонала сети по восстановлению поврежденных соединений;

3) активно применять гибкие и разнообразные способы изменения конфигурации сети.

Основным функциональным оборудованием систем передачи SDH являются синхронные мультиплексоры SM (Synchronous Multiplexers).

Различают три основных типа SM:

1) терминальные мультиплексоры ТМ (Terminal Multiplexers);

2) синхронные линейные мультиплексоры SLM (Synchronous Line Multiplexers);

3) мультиплексоры выделения/вставки DIM (Drop/Insert Multiplexers), или мультиплексоры ввода/вывода ADM (Add/Drop Multiplexers).

Вторым основным типом оборудования систем передачи SDH является аппаратура цифрового доступа с кросс-соединением цифровых потоков DACS (Digital Access Cross-Connect System) или DXC (Digital Cross-Connect).

Регенераторы синхронных линейных трактов являются третьим основным типом оборудования систем передачи SDH. Они выполняют глубокий контроль точности передачи; обработку RSON, связь с клиентами и с системой контроля, управления и обслуживания, функцию SEMF (Synchronous Equipment Management Function), которая контролирует все функции регенератора. и др.

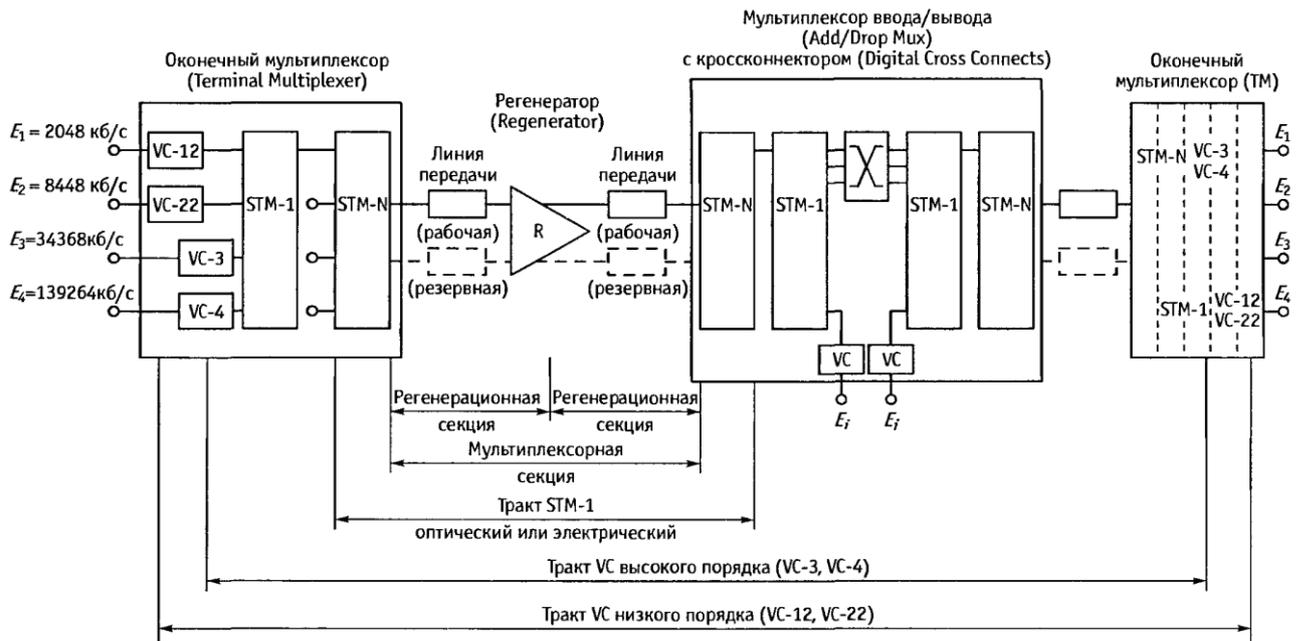


Рис. 1.4. Функциональная схема системы передачи SDH [3]

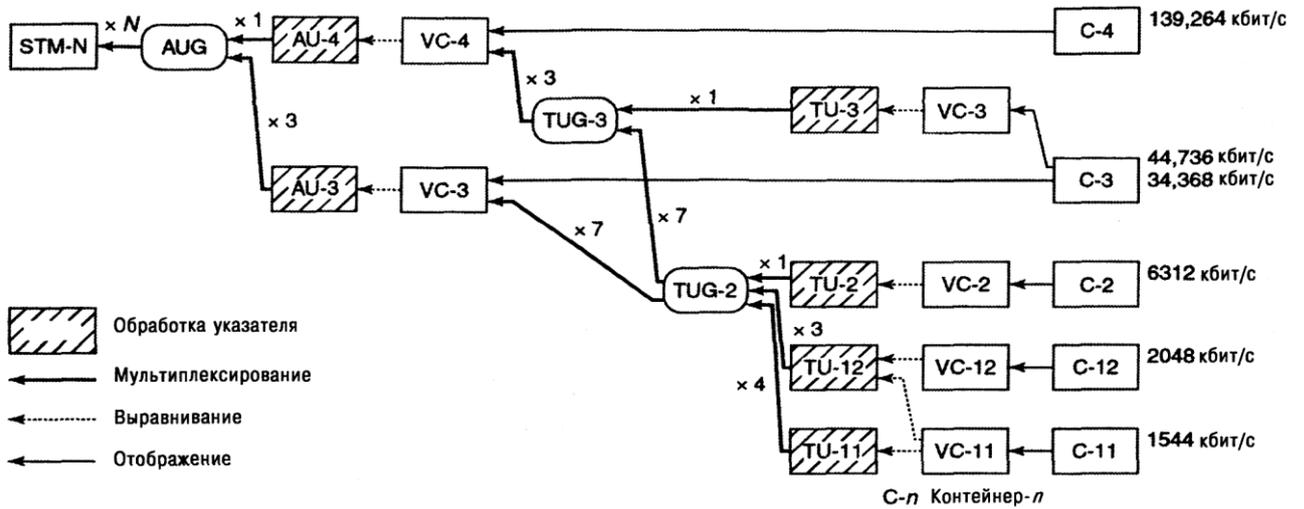
1.1.3. Особенности построения циклов передачи сигналов синхронных цифровых систем передачи

Первая особенность построения циклов передачи синхронных ЦСП состоит в том, что они поддерживают в качестве входных сигналов доступа цифровые потоки псевдосинхронных ЦСП и формируют на выходах синхронных терминальных и линейных мультиплексоров систем передачи SDH соответствующего уровня цифровые потоки с указанными скоростями передачи.

Вторая особенность систем передачи SDH заключается в процедуре формирования структуры их циклов передачи. Здесь общими являются два правила:

1. При наличии иерархии составных элементов структуры цикла передачи элемент верхнего уровня может строиться из элементов нижнего уровня иерархии.

2. Несколько полученных по первому правилу элементов структуры одного уровня иерархии могут быть объединены в один общий элемент верхнего уровня иерархии.



Замечание: Показаны трибы G.702, связанные с контейнерами С-х. Другие сигналы, например, АТМ, также могут быть использованы

Рис. 1.5. Обзор структуры мультиплексирования [12]

Третья особенность иерархии SDH – положение виртуального контейнера может определяться с помощью указателей, позволяющих устранить противоречие между фактом синхронности обработки и возможным изменением положения контейнера внутри поля полезной нагрузки.

Пятая особенность состоит в том, что в ней предусмотрено формирование отдельного (нормального для технологий пакетной обработки в локальных сетях) поля заголовков размером $9 \times 9 = 81$ байт.

Таблица 1.2

Скорости синхронных цифровых потоков [2]

Обозначения трактов	Скорость, Мбит/с	Количество каналов	Количество трактов
---------------------	------------------	--------------------	--------------------

STM-0	51,840	672	21 E1
STM-1	155,520	1920	3 STM-0, 63 E1, 4 E3, 1 E4
STM-4	622,080	7560	4 STM-1
STM-16	2488,320	30240	4 STM-4
STM-64	9953,20	120960	4 STM-16
STM-256	39813,120	483840	4 STM-64

Основой построения цикла передачи сигналов синхронных ЦСП, подчиняющихся принятой ИТУ-Т иерархии, является STM-1, который называется также первичным, или базовым. Он представляет собой ЦГС заданной структуры с длительностью цикла передачи 125 мкс и скоростью передачи 155,52 Мбит/с. Забегая вперед, отметим, что цикл передачи STM-1 в соответствии с Рекомендацией ИТУ-Т G.704 [34] содержит 2430 байт или $2430 \times 8 = 19440$ бит.

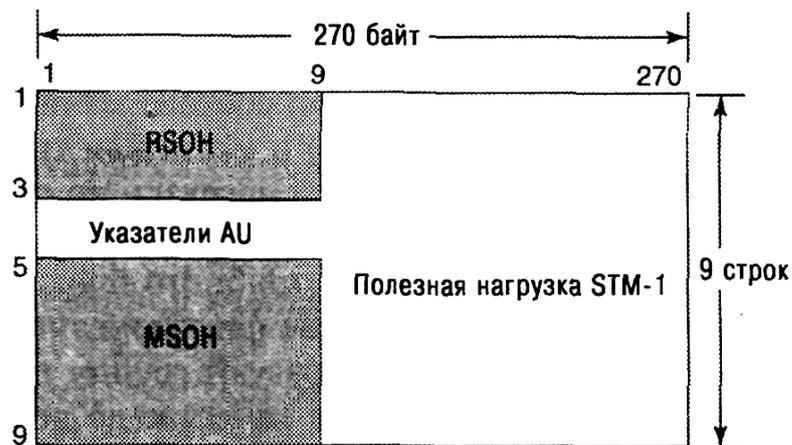


Рис. 1.6. Структура фрейма STM-1: RSOH - заголовок регенераторной секции, MSOH - заголовок мультиплексной секции

Цикл передачи STM-1 имеет таблицу размером в 270 столбцов и 9 строк, следовательно, он содержит $270 \times 9 = 2430$ байт. Из них поле размером $9 \times 9 = 81$ байт отводится для передачи различных служебных сигналов

(заголовков, указателей). Для транспортирования сигналов полезной нагрузки остается поле $261 \times 9 = 2349$ байт [1].

Модуль STM-1 включает одну группу административных блоков (AUG) вместе с секционным заголовком (SOH). Модуль STM-N содержит N групп AUG вместе с SOH. На рис. 1.7. показан модуль STM-N.

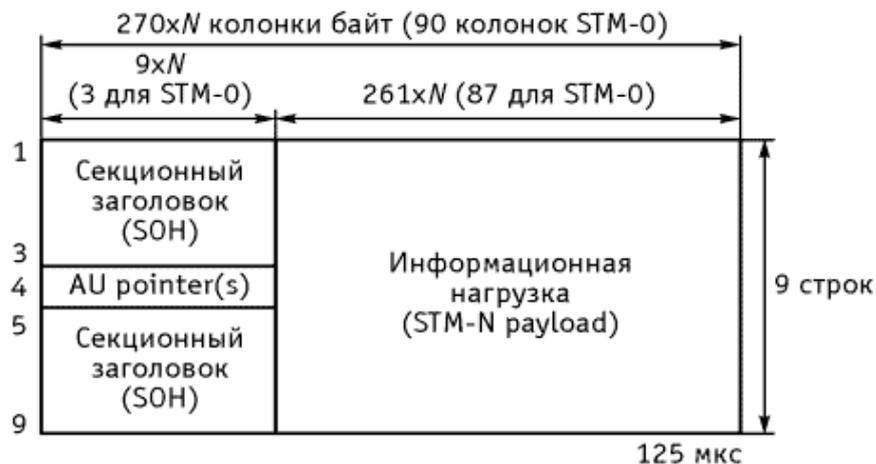


Рис. 1.7. Структура синхронного транспортного модуля STM-N [5]

1.1.4. Преимущества и недостатки систем передачи и сетей SDH

Преимуществами систем передачи и сетей SDH перед плездохронными ЦСП являются:

1. Упрощение техники мультиплексирования/ демупльтиплексирования;
2. Доступ к компонентным цифровым потокам и возможность их выделения/вставки в любом пункте линейного тракта практически без преобразований всего массива передаваемой полезной нагрузки [6, 7];
3. Применение кросс-коннекторов в трактах различного порядка согласно планируемой конфигурации транспортной сети [2, 8].
4. Высокая эффективность использования оборудования линейного тракта;

5. Аппаратура систем передачи SDH многофункциональна и имеет высокую степень унификации.

6. Возможность централизованного дистанционного мониторинга и управления всеми элементами сети SDH на сетевом уровне. Сети SDH являются полностью программно управляемыми [9].

7. Транспортная сеть SDH имеет четкое послойное строение, что позволяет внедрять новые технологии в каждом сетевом слое, и иметь в каждом слое собственные средства контроля и управления.

8. Системы передачи SDH имеют встроенные средства контроля, управления и борьбы с отказами, что позволяет построить транспортные сети высокой надежности и живучести.

Возникла концепция самовосстанавливающихся (Self-Healing) сетей. Такие сети, в случае выхода из строя отдельных элементов, способны сохранять работоспособность или за короткое время автоматически восстанавливать связь без серьезных последствий для пользователей.

9. Сети SDH обеспечивают эффективное использование пропускной способности, повышенную надежность и быстрое предоставление услуг.

10. На сети SDH можно объединять оборудование разных производителей, так как в системах передачи SDH стандартизированы все оптические и электрические интерфейсы.

Технология SDH имеет следующие недостатки:

1. Ограниченная гибкость;
2. Нерациональность (неполная загруженность контейнеров);
3. Большой объем необходимого оборудования;
4. Большие сроки подготовки линий;
5. Нерациональный расход полосы пропускания.
6. Использование одного из каналов полностью под служебный трафик;

1.2. Анализ принципов построения оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе технологии поверх SDH

Транспортная сеть должна, прежде всего, обеспечивать высокую пропускную способность соединений между узлами коммутации голоса и данных. В настоящее время, кроме SDH, эту задачу могут успешно решать более интеллектуальные технологии — ATM или IP. Эти технологии обладают определенными преимуществами перед SDH, однако следует учитывать, что их внедрение оправданно и эффективно, если объем трафика данных значительно превосходит голосовой.

Классификация магистральных транспортных сетей телекоммуникаций. В настоящее время реализован ряд вариантов коммутации и мультиплексирования трафика в операторских магистральных сетях. Сравним четыре способа организации магистральной связи. [17]

1. Магистраль с коммутацией каналов с временным мультиплексированием (Circuit Switched Time Division Multiplexed, TDM, Backbone). Всему трафику выделяется вся полоса пропускания тракта (Trunk Bandwidth) по пиковой скорости трафика для каждого входного канала. Не предпринимаются попытки объединить неравномерный, или пачечный (bursty) трафик данных для передачи по более эффективным сетям с коммутацией пакетов и статистическим мультиплексированием. Весь чувствительный к задержкам трафик (в основном речь) передается с фиксированной скоростью. Для

2. Гибридная магистраль (Hybrid Backbone). Похожа на предыдущую, за исключением того, что имеются две отдельные сети. Весь неравномерный трафик данных в идеале организуется в сеть с коммутацией пакетов и статистическим мультиплексированием, чем обеспечивается лучшее использование магистральных ресурсов.

3. Магистраль с коммутацией пакетов и статистическим мультиплексированием (Packet Switched StatMuxed Backbone). Весь трафик, включая трафик с фиксированной скоростью (чувствительный к временным задержкам), до пропуска его по оптической магистрали упаковывается в пакеты и статистически мультиплексируется в высокоскоростные потоки. При необходимости могут использоваться цифровые кросс-коммутаторы SDH и технология WDM. При статистическом мультиплексировании пакеты всех потоков ставятся в одну очередь и обслуживаются в порядке «первый пришел — первый обслуживается».

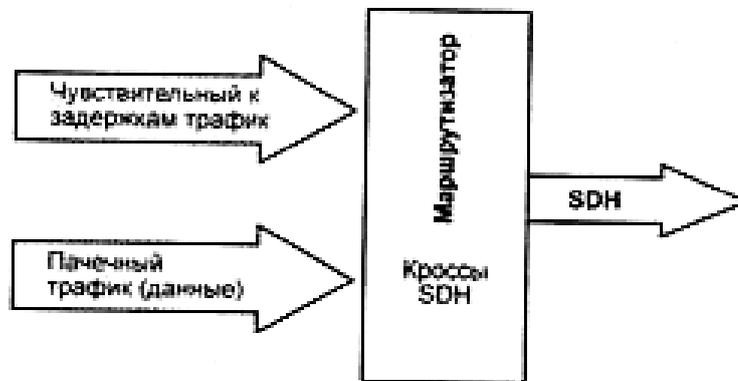


Рис. 1.8. Магистраль с коммутацией пакетов и статическим мультиплексированием

4. Магистраль ATM. Весь трафик до пропуска его по оптической магистрали упаковывается в ячейки фиксированной длины и статистически мультиплексируется в высокоскоростные потоки. Трафику с фиксированной скоростью выделяются виртуальные каналы с постоянной скоростью передачи (Constant Bit Rate, CBR), способные обеспечить качество обслуживания (Quality of Service, QoS) на уровне TDM. Для неравномерного трафика данных выделяются виртуальные каналы с переменной (Variable Bit Rate, VBR), доступной (Available Bit Rate, ABR) или неопределенной (Unspecified Bit Rate, UBR) скоростью передачи, которая статистически мультиплексируется для передачи по полосе пропускания, не

зарезервированной для трафика CBR. При необходимости могут реализовываться цифровые кросс-коммутаторы SDH и технология WDM.

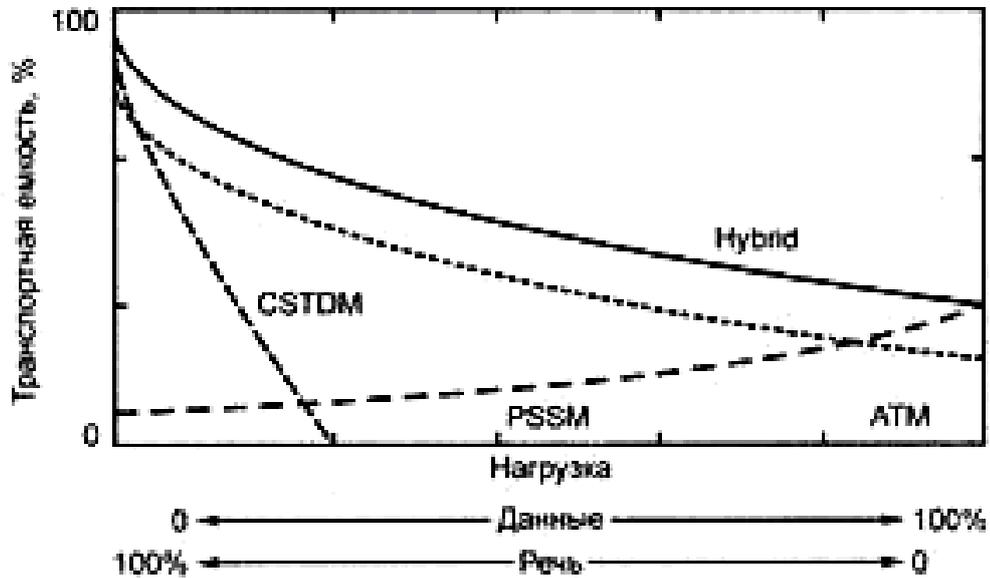


Рис. 1.9. Непосредственное сравнение технологий:

Hybrid – гибридная магистраль, CSTDM – тракт TDM с коммутацией каналов, PSSM – тракт с коммутацией пакетов и статистическим мультиплексированием [17]

Послойное построение оптических транспортных сетей телекоммуникаций. Существующие транспортные сети представляют собой различные варианты многослойных структур, которые изображены на рис. 1.10.

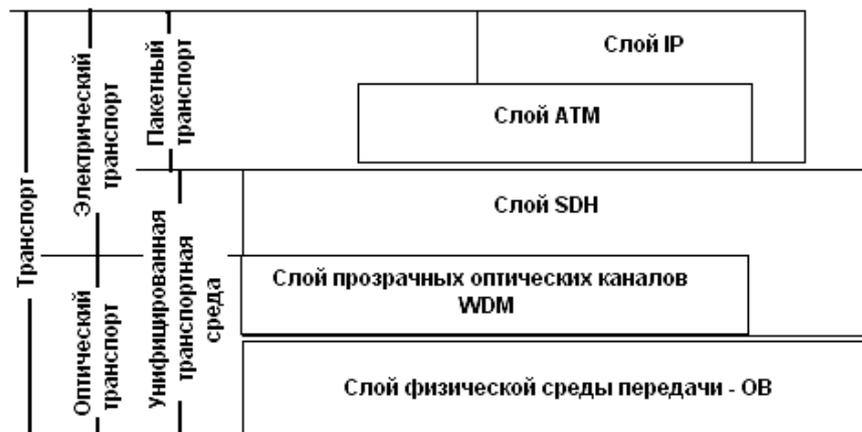


Рис. 1.10. Технологические слои транспортной сети

Из-за того, что в оптическом слое недостаточно «интеллекта», а у таких интеллектуальных технологий, как, например, АТМ и IP, слабо развиты функции передачи, приходится прибегать к технологиям-посредникам. Такой технологией в настоящее время является технология SDH. Технология SDH «оживляет» относительно пассивную сеть оптических каналов. Таким образом, возникают так называемые технологические цепочки. [12]

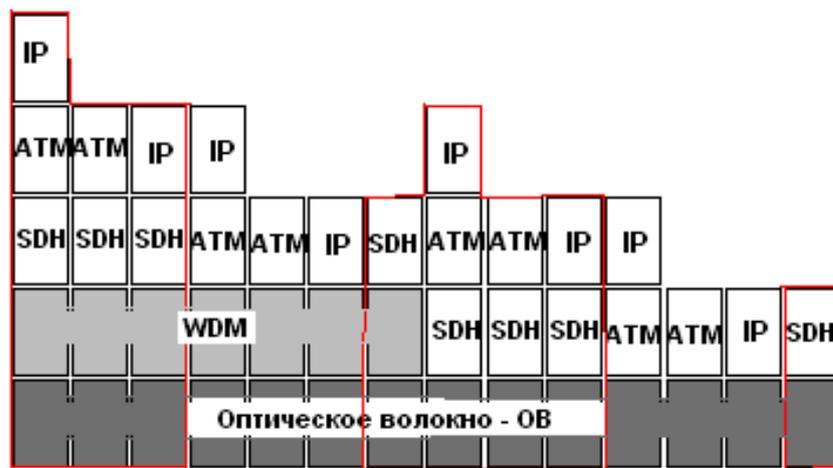


Рис.1.11. Технологические цепочки и варианты доступа к оптическому слою

1.2.1. Противостояние технологий IP и АТМ

Стратегия развития АТМ предусматривала направление развития «сверху», тогда как развитие технологии IP шло по стратегии «снизу».

Использование технологии АТМ при построении опорной сети можно рекомендовать в следующих случаях:

- загрузка каналов близка к предельной;
- требуется передавать разнородный трафик с предоставлением различных классов обслуживания (голос, данные, видео);
- доля голосового трафика в общей загрузке канала является существенной;

— возможны требования по предоставлению «прозрачных» каналов связи, например для соединения выносов АТС.

Таблица 1.3.

Особенности технологий коммутации пакетов [17]

Наименование технологии	АТМ	IP
Область применения	Магистр. Местные, Локальные сети	Магистр. Местные, Локальные сети
Максимальная Скорость передачи	622 Мбит/с, 4.5 Гбит/ с	Гбит/с
Максимальная длина пакетов (байт)	53	65535
Возможность передачи данных	Есть	Есть
Возможность передачи речи (Онлайн)	Есть	Есть
Наличие механизма QoS	Есть	Нет
Максимальное расстояние передачи (км)	Не огр.	Не огр.

И
сле
дов
ател
и
част
о
при
вод
ят

объективные недостатки АТМ (сложная процедура обслуживания трафика, высокая стоимость оборудования, отсутствие гибкости и пр.). Сейчас не столь важно понимание причин победы технологии IP, сколько само признание этого факта. Таким образом, если мы говорим о современной концепции единого транспорта пакетных сетей, то однозначно имеем в виду технологию IP и ее окружение.

Технология IP вошла в стандарты NGN в качестве единого формата унифицированных данных и вошла настолько глубоко, что стала равнозначна самой технологии NGN.

Основным назначением уровня АТМ на модели является создание инфраструктуры постоянных виртуальных каналов с гарантированным качеством обслуживания, соединяющих интерфейсы IP-маршрутизаторов. После появления многослойных глобальных IP-сетей возникла потребность

различать эти два вида сетей, поэтому для классических IP-сетей мы будем использовать термин «чистая» IP-сеть.

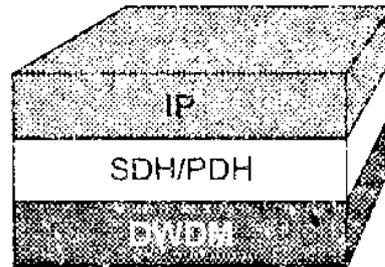


Рис. 1.12. Структура «чистой» IP-сети

В такой сети цифровые каналы по-прежнему образуются инфраструктурой двух нижних уровней, а этими каналами непосредственно пользуются интерфейсы IP-маршрутизаторов без какого-либо промежуточного уровня. В том случае, когда IP-маршрутизатор использует каналы, образованные в сети SDH/SONET, вариант IP-сети получил название пакетной сети, работающей поверх SONET (Packet Over SONET, POS).

«Чистая» IP-сеть может применяться для передачи чувствительного к задержкам трафика современных приложений в двух случаях:

- если IP-сеть работает в режиме низкой нагрузки;
- если слой IP обеспечивает поддержку параметров QoS собственными средствами за счет применения механизмов IntServ или DiffServ.

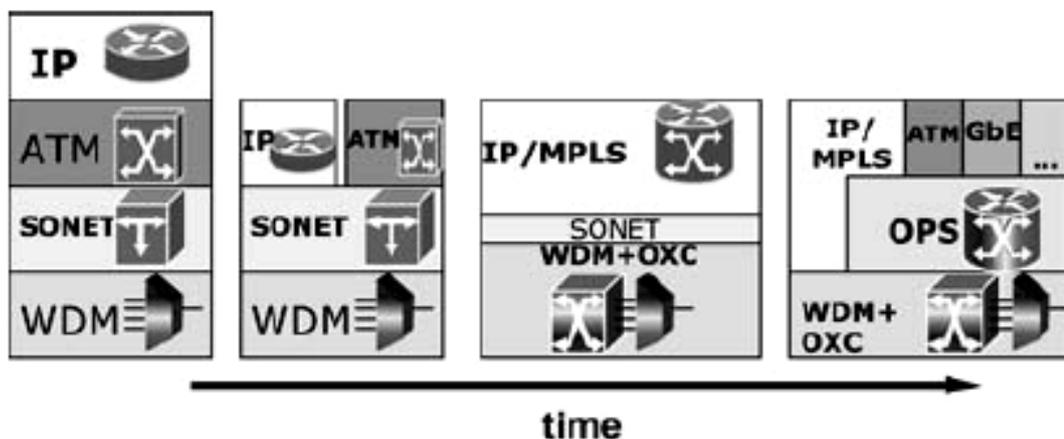


Рисунок 1.13. Эволюция архитектуры опорной транспортной сети

Из набора существующих двухточечных протоколов протокол IP сегодня использует два: HDLC (High-level Data Link Control) и PPP (Point-to-Point Protocol).

Передача ячеек ATM по трактам SDH. Синхронная цифровая иерархия (SDH) составляет основу физического уровня широкополосной сети с интеграцией услуг (B-ISDN) на базе технологии ATM (Рекомендация МСЭ-Т I.311). Для передачи ячеек ATM используется два типа интерфейсов: 155 Мбит/с (STM-1) и 622 Мбит/с (STM-4) с использованием циклов передачи аппаратуры SDH.

При использовании STM-1 для транспортировки ячеек ATM поток ячеек размещается в контейнере 4-го порядка (С-4), как показано на рисунке 1.14. [18]. Таким образом, в структуре синхронного транспортного модуля STM-1 для переноса ячеек выделяется пропускная способность, равная:

$$(9 \times 260 \times 8) / 125 \times 10^{-3} = 149,760 \text{ Мбит/с}$$

Размер контейнера в байтах ($9 \times 260 = 2340$) не кратен размеру ячейки ATM в байтах (53). Объем контейнера заполняется полностью, и поэтому ячейка может пересекать границу контейнера. Но байт-ориентированная структура контейнера и ячейки должна совпадать. [11]

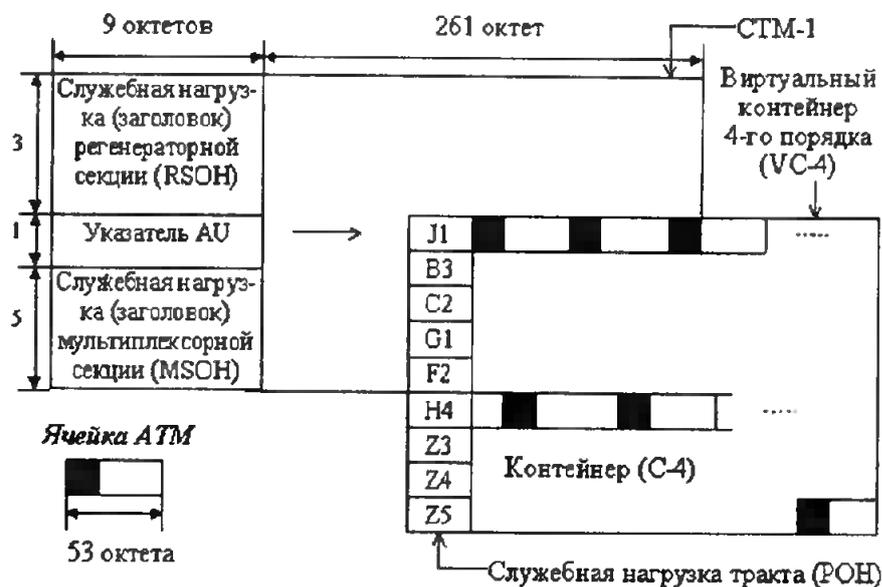


Рис.1.14.. Использование STM-1 для переноса ячеек АТМ

К контейнеру С-4 добавляется служебная нагрузка тракта – трактовый заголовок РОН (Path Overhead), и образуется виртуальный контейнер 4-го порядка (VC-4).

Затем виртуальный контейнер (VC-4) записывается в синхронный транспортный модуль. Указатель административного блока используется для того, чтобы найти первый байт виртуального контейнера VC-4.

В Рекомендации МСЭ-Т G.707 приведен способ формирования из 4-х синхронных транспортных модулей STM-1 модуля STM-4. Полезная нагрузка STM-4 может быть структурирована различными способами, например, из четырех виртуальных контейнеров 4-го порядка или как единый блок [18].

В первом случае пропускная способность STM-4 будет равна

$$4 \times 149,760 = 599,040 \text{ Мбит/с}$$

Во втором случае пропускная способность будет несколько выше за счет того, что в едином блоке необходим только один столбец для служебной нагрузки (заголовка) тракта, и, таким образом, выигрыш в пропускной способности будет составлять

$$3 \times 9 \times 8 / 125 \times 10^{-6} = 1,728 \text{ Мбит/с}$$

Однако пока МСЭ-Т рекомендовал первый способ, а три столбца служебной нагрузки тракта заполняются октетами стаффинга.

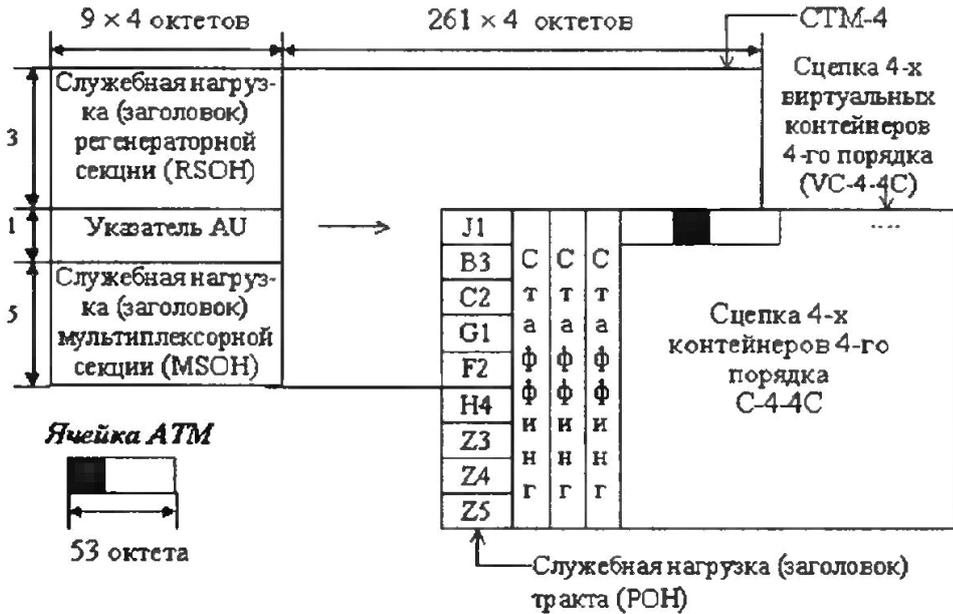
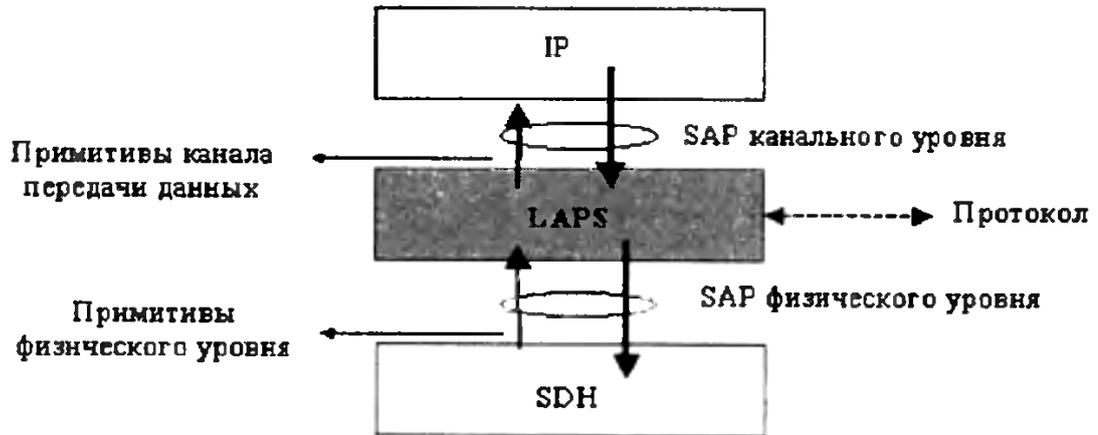


Рис.1.15. Использование STM-4 для переноса ячеек ATM

Передача трафика IP по трактам SDH. В [27] предложена модель высокоуровневого протокола управления каналами передачи данных (HDLC), называемая процедурой LAPS. Эта процедура служит для передачи трафика (пакетов) IP по каналам SDH на основе протоколов IPv6, Ipv4, PPP и других пакетов протоколов верхнего уровня. Для нее определен состав логических связей, определяемых с помощью идентификатора точки доступа к услугам (SAPI), а также физические интерфейсы и примитивы.

В качестве обозначения использования процедуры LAPS для размещения пакетов и кадров данных в поле полезной нагрузки виртуального контейнера VC-4 была определена трактовая метка сигнала полезной нагрузки VC-4 (байт C2 в трактовом заголовке VC-4 имеет шестнадцатеричное значение C2=18).

Взаимосвязь между процедурой LAPS, протоколом IP и физическим уровнем SDH, наряду с соответствующими примитивами представлена на рис.1.16.



SAP – точка доступа к услуге

Рис.1.16. Взаимосвязь процедуры LAPS и IP, процедуры LAPS и SDH

При передаче IP по каналам SDH физический, канальный и сетевой уровни или другие протоколы определены как SDH, LAPS и протоколы на основе IP или протокола PPP [11].

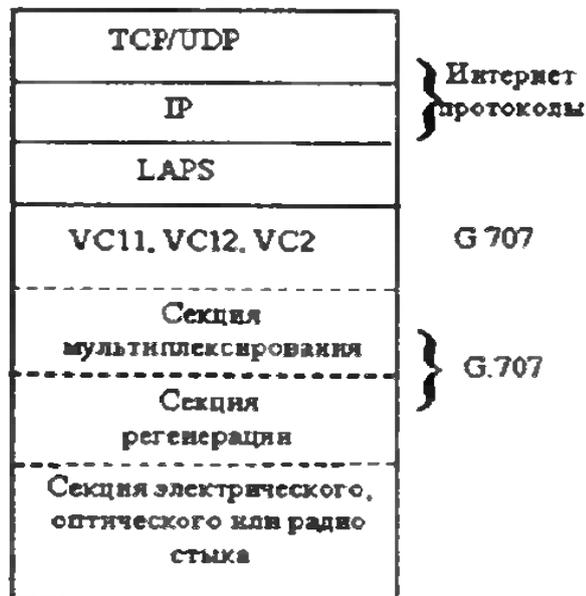


Рис.1.17. Набор уровней/протоколов для передачи IP через STM с использованием процедуры LAPS

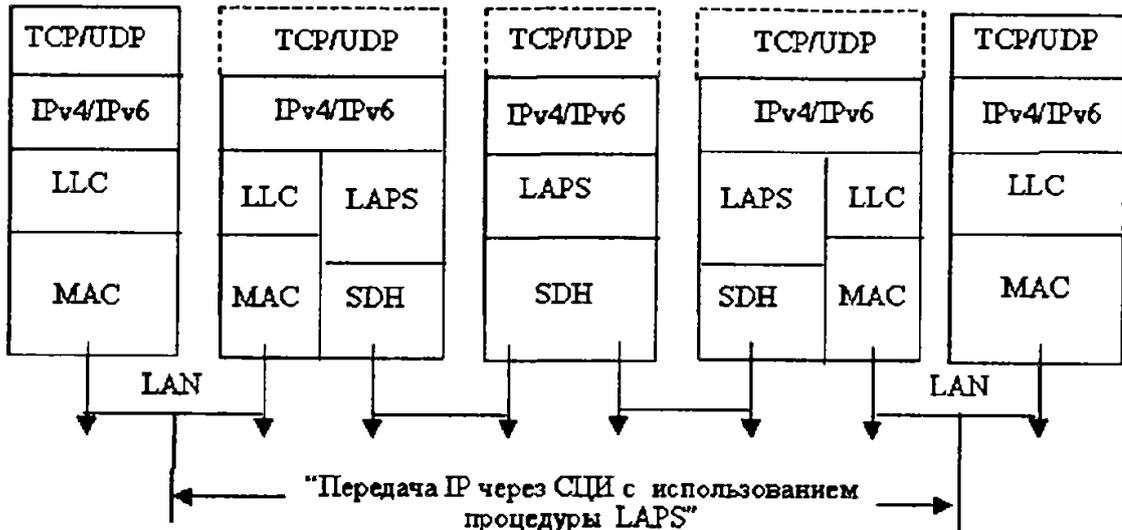


Рис.1.18. Конфигурация протокола передачи IP по каналам SDH с использованием процедуры LAPS

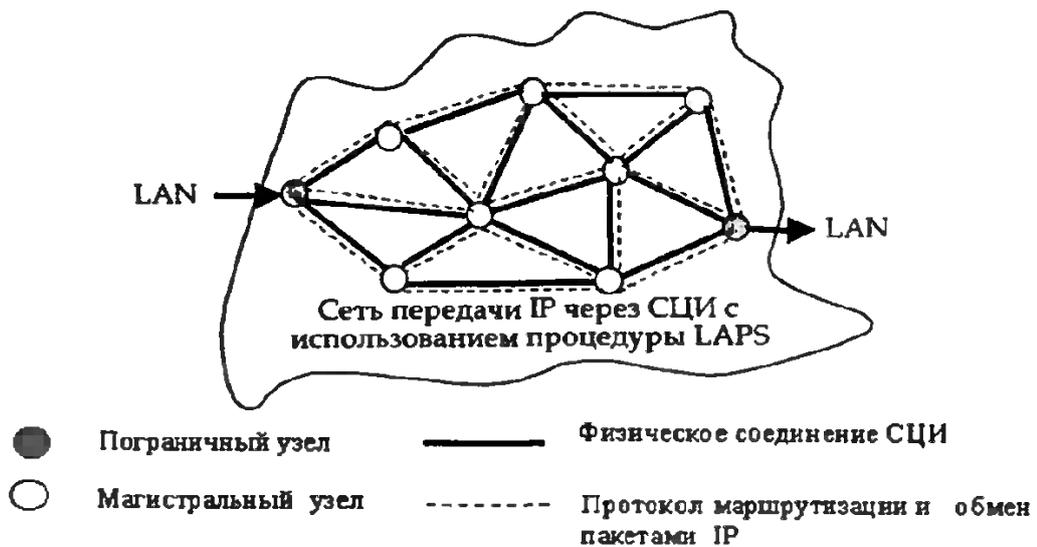


Рис.1.19. пример передачи IP по каналам SDH с использованием процедуры LAPS

Все взаимодействия между равноправными узлами на канальном уровне осуществляются с помощью кадров с форматом, приведенным на рисунке 1.20. Все кадры начинаются и завершаются с флага 01111110. Флаг, предшествующий адресному полю, определен как флаг открытия. Флаг, следующий за полем последовательности проверки кадра (FCS), определен

как флаг завершения. В некоторых применениях флаг завершения служит также в качестве флага открытия следующего кадра. Однако все приемники должны быть способны обеспечивать прием одного или более следующих подряд флагов. Последовательность флагов должна передаваться между кадрами для заполнения пауз.

Адресное поле должно содержать значение 0x04.

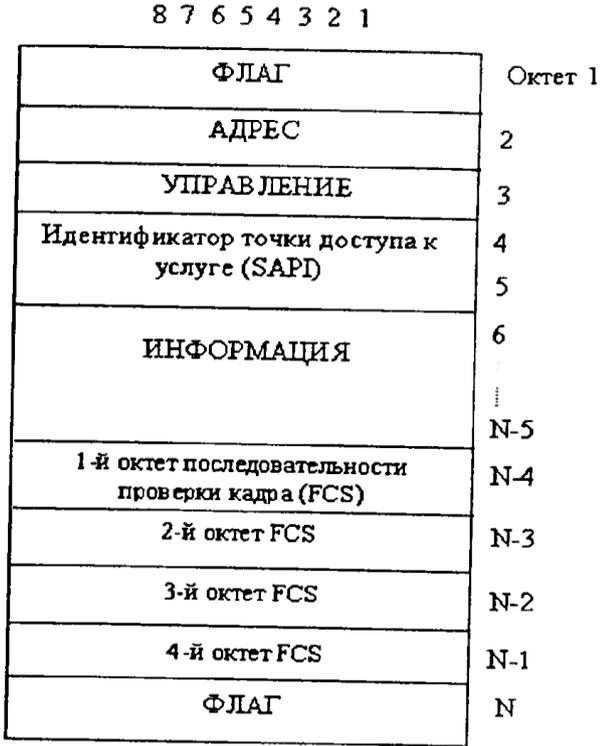


Рис.1.20. Формат кадра

Информационное поле кадра, если таковое имеется в наличии, следует за полем идентификатора точки доступа к услуге (SAPI) и предшествует последовательности проверки кадра. Содержимое информационного поля должно содержать целое число октетов.

При передаче кадров применяется процедура стаффинга октетов.

Для обеспечения передачи данных без искажений в формат кадров вводится последовательность проверки кадра (FCS). Поле FCS должно представлять собой 32-битовую последовательность [19].

Октеты кадра передаются в порядке числового возрастания, внутри октета бит 8 является первым битом, подлежащем передаче.

1.2.2. Протоколы оптической транспортной сети

Протокольное решение GFP. Технология GFP по определению МСЭ-Т обеспечит более эффективное использование ресурсов транспортной сети для доставки данных нереального времени. GFP поддерживает передачу кадров переменной емкости.



Рис.1.21. Формат кадра GFP

Формат кадра GFP может указывать на различные назначения:

- пользовательские с передачей трафика и управления в интересах пользователя;
- управление с кадрами технического обслуживания, управление и эксплуатация (OAM, Operation, Administration, Maintenance).

Кроме того, кадр GFP предусмотрен для реализации двух возможностей передачи: прозрачной GFP-T (Transparented) и с отображением кадра пользователя GFP-F (Frame mapped) [4].

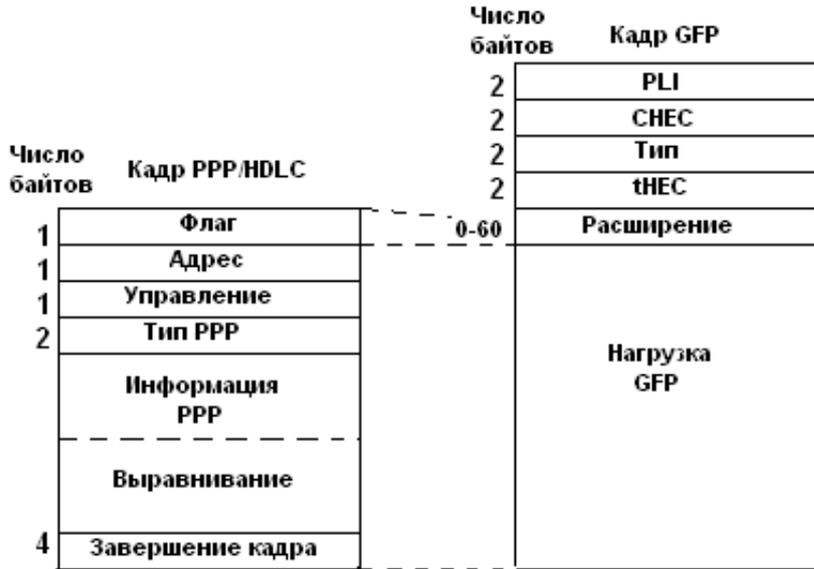


Рис. 1.22. Пример размещения нагрузки PPP/HDLC в GFP

Где: СНЕС – длина и поле контроля ошибок; PLI – поле индикатора длины протокольного пользовательского блока данных; tНЕС – контроль поля типа.

Технология Packet-over-Sonet (POS) обеспечивает высокоскоростную передачу IP-пакетов по каналам STM-1. Технология Packet-over-Sonet (POS) обладает всеми достоинствами и недостатками технологий SDH и IP. К достоинствам относятся высокая надежность сети SDH и гибкость IP-сети, к недостаткам — отсутствие универсальной технологии, обеспечивающей передачу разнородного трафика.

Сетевая инфраструктура упрощается. Появляется только дополнительный подуровень, необходимый для формирования пакетов данных протокола типа «точка-точка» (Point-to-Point Protocol, PPP). Магистральные маршрутизаторы соединяются каждый с каждым по схеме «точка — точка», что ограничивает масштабируемость IP-сети.



Рисунок 1.23 PPP-фрейм

Транспортная сеть строится по смешанному типу парка техники: магистральных маршрутизаторов, оснащенных SDH-модулями, и SDH-оборудования. Для управления транспортной сетью требуется две системы сетевого управления для сети SDH и IP-сети [28].

Отсутствие промежуточного стека протоколов ATM позволяет снизить накладные расходы на передачу информации. По сравнению с 10%, приходящимися на заголовок ячейки ATM, 3% служебных данных фрейма POS — несомненный прогресс. Однако передача IP-пакетов имеет неравномерный характер. Попытка загнать потоки пакетов в голосовые каналы ведет к потере пропускной способности, так как значительную часть времени каналы оказываются не дозагруженными. Но, с другой стороны, за достижение максимального использования каналов посредством статистического мультиплексирования приходится расплачиваться, плата — непредсказуемая задержка, неустойчивая синхронизация и потери пакетов.

Управлять сетевыми ресурсами и трафиком в IP-сетях можно с помощью протокола типа DiffServ или RSVP. Однако не факт, что эти сложные протоколы будут работать в крупномасштабных мультисервисных сетях.

Протокол RSVP (Resource Reservation Protocol extensions) резервирует полосу пропускания для того, чтобы обеспечить гарантированное время доставки голосовых пакетов в IP-сети. Резервирование снижает эффективность использования ресурсов. Кроме того, требуемую полосу пропускания можно обеспечить путем увеличения степени сжатия передаваемых пакетов при допустимых потерях информации и ухудшении качества звука. Так как резервирование осуществляется для каждого потока пакетов между парами источник-получатель, то протокол RSVP не используется в крупномасштабных сетях с множеством потоков.

Протокол DiffServ обеспечивает дифференцированное обслуживание для различных приложений путем классификации и маркировки пакетов.

Маркер приоритета помещается в IP-заголовок пакета и определяет уровень обслуживания пикетов данного приложения. DiffServ разделяет весь трафик на небольшое число классов обслуживания (32 класса обслуживания) и определяет тип локального поведения узла. Для поддержки уровня обслуживания в маршрутизаторах используются различные механизмы обслуживания очередей и управления буферами.

Многопротокольная коммутация с помощью меток MPLS.

Технология многопротокольной коммутации с помощью меток (Multiprotocol Label Switching, MPLS) считается сегодня многими специалистами одной из самых перспективных транспортных технологий.

MPLS — это технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях, основанная на использовании меток. MPLS сочетает в себе возможности управления трафиком, присущие технологиям канального уровня (Data Link Layer 2), и масштабируемость и гибкость протоколов, характерные для сетевого уровня (Network Link Layer 3). "Многопротокольность" в названии технологии означает, что MPLS — инкапсулирующий протокол и может транспортировать множество других протоколов, рис. 1.24.

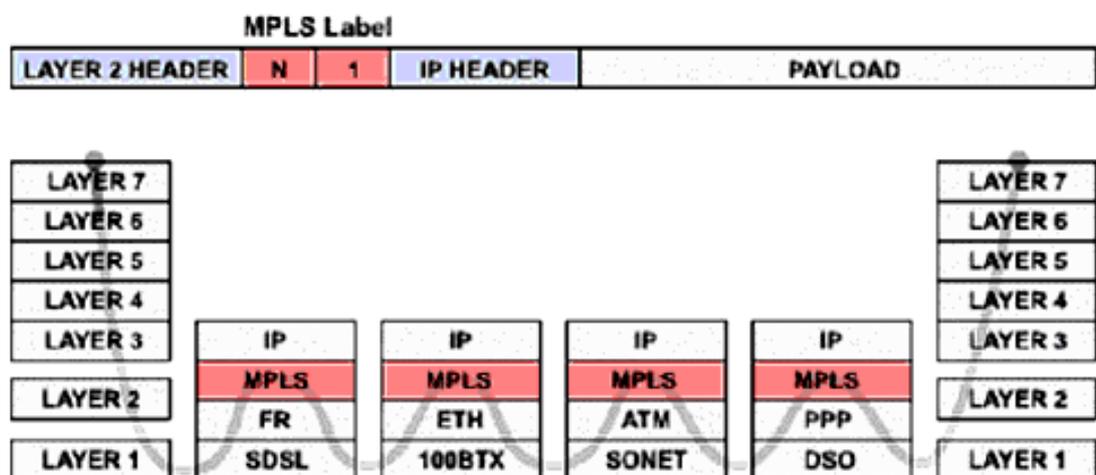


Рис. 1.24. Технология MPLS в IP сетях

Протокол MPLS упрощает процесс продвижения пакетов в магистрали, поскольку на промежуточных LSR происходит не обычная маршрутизация, а высокоскоростная коммутация на основании информации в метке. Протокольное решение T-MPLS представлено интерфейсами аппаратуры мультисервисных транспортных сетей с различными физическими окончаниями и возможностями по коммутации пакетного трафика [4].

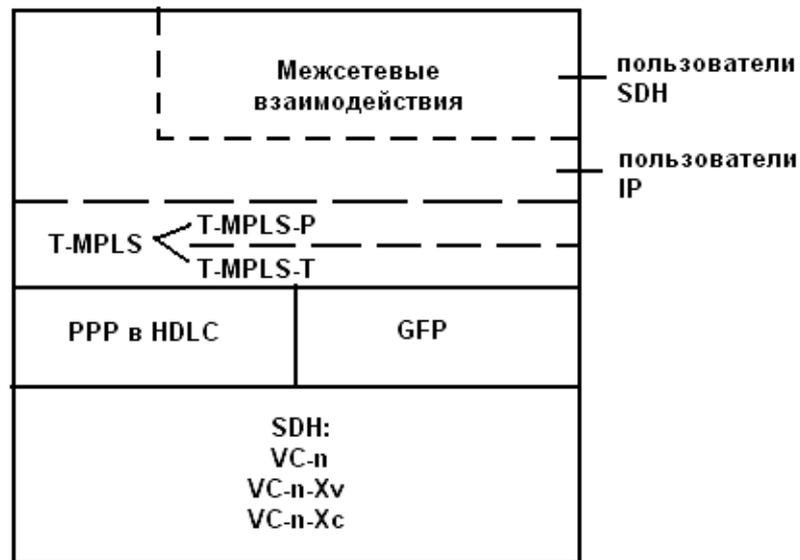


Рис. 1.25. Сетевой интерфейс на базе технологии T-MPLS поверх SDH

В структуре интерфейса имеется разделение на функции:

T-MPLS-P – тракт с контролем «из конца в конец»;

T-MPLS-T – соединение с тандемным наблюдением.

Технологическая цепочка трансляции трафика в T-MPLS с образованием меток, туннелированием и размещением в кадры согласования представлена на рис. , где обозначено:

- S – признак для протокольного стека (1 бит);
- TTL – метка времени жизни (8 битов);
- Label – метка емкостью 20 битов;
- EXP – экспериментальная метка (3 бита).

Структура метки MPLS состоит из 32 битов (4 байта): 12 битов – заголовок и 20 битов – значение метки [64]. Заголовок метки состоит из 3х полей: EXP, которое может служить для обозначения класса обслуживания, S-бита признака «дна» стека и TTL (Time-to-Live).

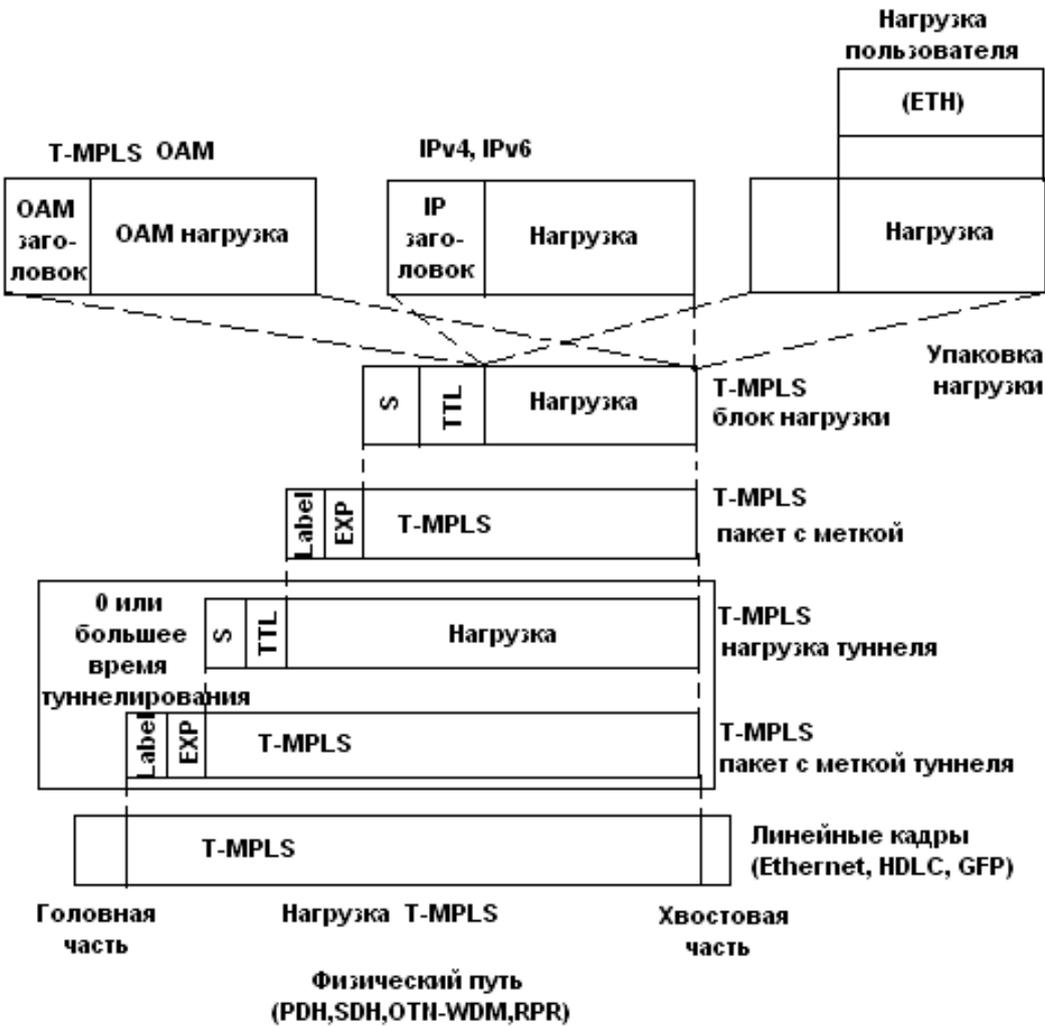


Рис. 1.26. Принцип упаковки нагрузки в транспортной сети T-MPLS

Обобщенная многопротокольная коммутация по меткам GMPLS.

Протокол GMPLS включает:

- интерфейс «пользователь – сеть» (User-to-Network Interface, UNI), с помощью которого пользовательское приложение запрашивает логический канал через сеть, задавая требуемую пропускную способность и адрес назначения;

- интерфейс «сеть – сеть» (Network-to-Network, NNI), где два кросс-коннектора или связанные с ними контроллеры используют для создания каналов с требуемой пропускной способностью, а также для распределения пропускной способности и автоматического обнаружения;
- интерфейс «контроллер – кросс-коннектор», с помощью которого выполненный отдельно контроллер взаимодействует с кросс-коннектором при создании соединения.

GMPLS можно представить как протокол «ядро—ядро», использующий в своей работе протоколы пограничных устройств, такие, как UNI, с помощью которых устройства IP сигнализируют ядру о требуемой пропускной способности. Примерами пограничных протоколов могут служить Optical Domain Service Interconnect (ODSI), а также Optical UNI (O-UNI) [29].

Обобщенная многопротокольная коммутация по меткам GMPLS реализуется в версиях протоколов CR-LDP (Constrain-based Routing Label Distribution Protocol) и RSVP-TE (Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering), предусмотренных рекомендациями МСЭ-Т G.7713.2 и G.7713.3.

Для передачи сигнальных сообщений в ASON предложено использование общих меток. Они содержат достаточно информации, чтобы позволить принимающему узлу программировать коммутацию вне зависимости от типа соединения [30].

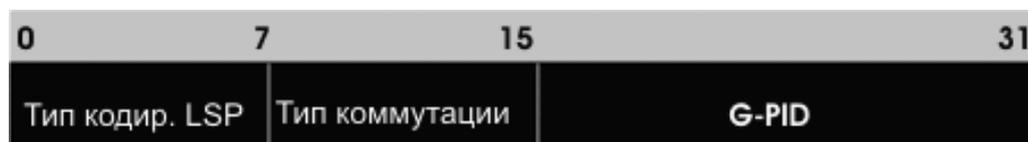


Рис. 1.27. Поле обобщенной метки запроса

Полная емкость поля общей метки представляет 32 бита.

Биты 0...7 указывают на запрашиваемый тип кодирования LSP. Ниже представлена таблица возможных значений этого поля.

Таблица 1.4.

Значения поля тип кодирования [26]

Значение	Тип
1	Пакет
2	Ethernet
3	ANSI/ETSI PDH
4	Зарезервировано
5	SDH ITU-T G.707 / SONET ANSI T1.105
6	Зарезервировано
7	Цифровой конверт
8	Lambda (оптическое)
9	Волокно
10	Зарезервировано
11	FiberChannel

Биты 7...15 указывают на тип коммутации, которая должна осуществляться в заданном канале. В настоящее время определены следующие значения:

Таблица 1.5.

Значения поля тип коммутации [31]

Значение	Тип
1	Packet-Switch Capable-1 (PSC-1)
2	Packet-Switch Capable-2 (PSC-2)
3	Packet-Switch Capable-3 (PSC-3)
4	Packet-Switch Capable-4 (PSC-4)
51	Layer-2 Switch Capable (L2SC)
100	Time-Division-Multiplex Capable (TDM)
150	Lambda-Switch Capable (LSC)
200	Fiber-Switch Capable (FSC)

Биты 16...31 характеризуют идентификатор поля данных – обобщенный PID (G-PID) или идентификатор уровня клиента данного LSP. Он используется узлами в конечных точках LSP и иногда предпоследним узлом.

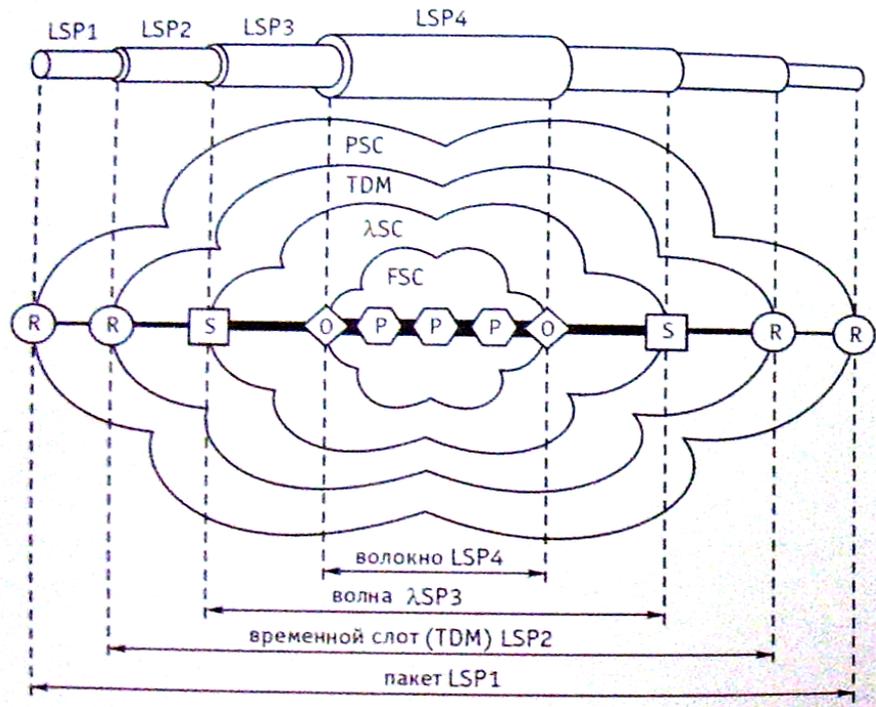


Рис. 1.28. Иерархическая система меток LSP

Где: R – маршрутизатор пакетов, S – кроссовый коммутатор SDH, O – оптоэлектронный коммутатор и транспондер, P – фотонный коммутатор (OXC).

В иерархической системе меток трактов LSP находятся волоконно-оптические интерфейсы FSC (Fiber Switch Capable). Ниже следуют волоконно-оптические интерфейсы λ SC или LSC (λ – Lambda Switch Capable), затем интерфейсы TDM, и, наконец, интерфейсы с возможностью пакетной коммутации PSC (Packet Switch Capable).

ВЫВОДЫ И ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

Выводы. В данной главе был произведен анализ оптических транспортных сетей телекоммуникаций. За основу были взяты технология SDH и развивающиеся технологии поверх SDH. В результате анализа можно сделать следующие выводы:

- Технология SDH является доминирующей в магистральных сетях и сетях масштаба города;
- Транспортные сети SDH строятся по территориальному принципу, что позволяет изменять конфигурацию сети и управлять действиями персонала по восстановлению поврежденных соединений;
- Выявлены пять особенностей построения циклов передачи иерархии SDH;
- Основными преимуществами SDH сетей является эффективное использование пропускной способности, повышенная надежность, живучесть, масштабируемость и отказоустойчивость;
- Технология SDH является транспортной технологией для IP и ATM, что компенсирует слабо развитые транспортные функции последних;
- Посредством новых развивающихся технологий, таких как MPLS, GFP и др. создаются оптические мультисервисные транспортные платформы;
- Происходит конвергенция и как следствие уменьшение числа слоев модели сети, в результате чего наблюдается тенденция к развитию новых возможностей технологии SDH как транспортной основы сетей NGN;
- К числу основных недостатков традиционной среды SONET относятся следующие: ограниченная гибкость, большой объем необходимого оборудования, большие сроки подготовки линий, и нерациональный расход производительности полосы пропускания.

Постановка задачи. На основе сравнительного анализа технологий пакетной коммутации в оптических транспортных сетях необходимо избрать оптимальный путь конвергенции последних, отдавая предпочтение технологиям, наиболее полно удовлетворяющим потребностям пользователей и требованиям качества предоставляемых услуг. Выбор необходимо делать, основываясь на тенденциях роста телекоммуникационного трафика. Приоритетной задачей является предложение наиболее оптимальной технологии пакетной передачи данных поверх оптических транспортных сетей связи. Также требуется на основании исследования качественных показателей пакетных коммутаторов разработать наиболее эффективные методы оценки качества передачи информации в оптических транспортных сетях на базе пакетной коммутации.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ПОВЕРХ SDN

2.1. Исследование трафика оптических транспортных сетей телекоммуникаций

2.1.1. Анализ трафика телекоммуникаций

Трафик (объем передаваемой и принимаемой информации в единицу времени) сети является одним из важнейших фактических показателей работы сети. Анализ трафика позволяет:

- оценить фактическую загрузку сети и необходимую емкость ее каналов;
- выяснить устойчивость работы сети и оперативность реакции на различные нештатные ситуации;
- судить о динамике развития сети и планировать сроки ее модернизации;
- регулировать различные информационные потоки на коммуникационных узлах связи;
- сформулировать рекомендации об оптимальных режимах выполнения различных коммуникационных задач;
- косвенно судить о разветвленности сети и числе ее пользователей.

Различают три основных типа передачи сообщений:

- передача речевых сообщений;
- передача видеосообщений;
- передача данных.

Каждому типу передаваемых сообщений соответствуют характерные для него виды трафика. Так, передача речевых сообщений по телефонным линиям может осуществляться без или с предварительным сжатием исходного цифрового сигнала. При этом характеристики трафика в каждой телефонной линии квартирному или делового секторов, а также в

соединительных линиях учрежденческих АТС могут существенно различаться.

При передаче видео сообщений различаются следующие виды трафика: неподвижное изображение; телефакс; факс цветной; видеотелефония; видеоконференция; передача изображений в различных компьютерных форматах; передача телевизионных изображений высокой четкости.

Передача данных имеет также характерные для нее виды трафика: трафик телекса; трафик телетекста; интерактивный обмен данными; передача больших массивов данных; трафик при поиске документов.

Существующие сегодня тенденции к объединению в единый пакет услуг (Triple Play, три в одном: аудио, видео и передача данных) большинства из перечисленных сервисов обусловлены реальным и прогнозируемым спросом рынка, и также конкурентной борьбой между провайдерами услуг. Так операторы сетей кабельного телевидения и традиционные телефонные операторы активно предлагают своим абонентам доступ в Интернет, а крупные провайдеры Интернет организуют альтернативные сети IP-телефонии, IP-телевидения и т.д. [10]

Традиционными источниками нагрузки для транспортных сетей принято считать сети с телефонным трафиком, сети ISDN, локальные компьютерные сети, системы передачи PDH и т.д.

Нагрузки мультисервисных транспортных сетей могут моделироваться и рассчитываться с определённой точностью, что может служить основанием для определения физических ресурсов в виде ёмкости цифровых трактов, числа волновых каналов, виртуальных каналов и трактов [10, 23].

На современном этапе развития NGN-сетей крайне необдуманно не учитывать "взрывной" характер трафика, объединенного пакетом услуг Triple Play. Современные исследования трафиковых измерений, проведенные в реальных телекоммуникационных сетях, доказывают, что сетевой трафик

является самоподобным, или фрактальным, по структуре, то есть пульсирующим в широких пределах временного масштаба. Так как самоподобность предполагает значительное влияние на сетевые характеристики, понимание причин и влияний трафиковой самоподобности - важная проблема.

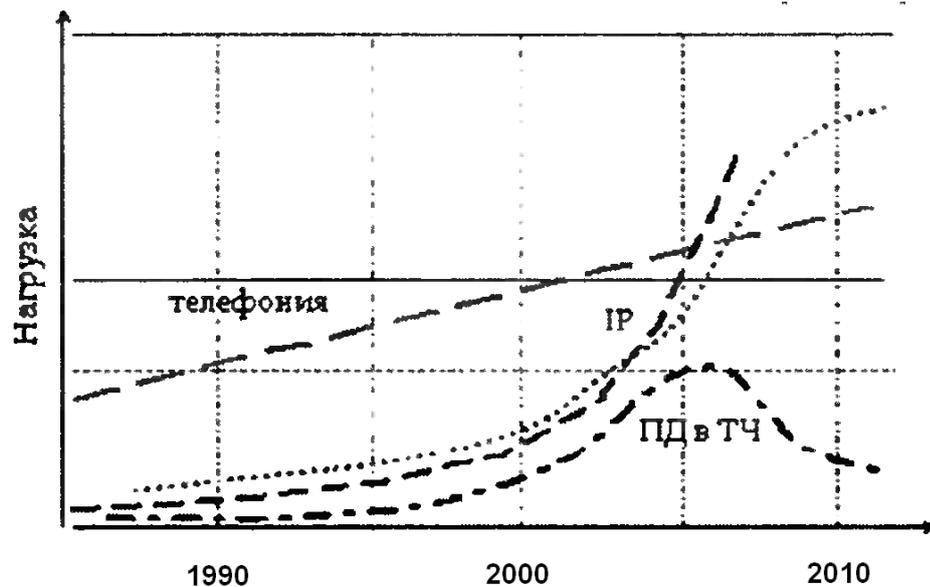


Рис. 2.1. Тенденции в изменении трафика [11]

Неэффективность передачи пульсирующего трафика. Коэффициент пульсации трафика отдельного пользователя сети определяется как отношение пиковой скорости на каком-либо небольшом интервале времени к средней скорости обмена данными на длительном интервале времени и может достигать значений 100:1. Если для описанного сеанса организовать коммутацию канала между компьютером пользователя и сервером, то большую часть времени канал будет простаивать. В то же время часть производительности сети останется закрепленной за данной парой абонентов и недоступной другим пользователям сети.

2.1.2. Типы трафика и требования к качеству обеспечения его обслуживания

Добиться одновременного соблюдения всех характеристик QoS для всех видов трафика очень сложно. Поэтому обычно используют следующий подход: классифицируют все виды трафика, существующие в сети, относя каждый из них к одному из распространенных типовых видов трафика, а затем добиваются одновременного выполнения определенного подмножества из набора требований для этих типов трафика.

К настоящему времени проделана большая работа по классификации трафика приложений. В качестве основных критериев классификации были приняты три характеристики трафика:

- относительная предсказуемость скорости передачи данных;
- чувствительность трафика к задержкам пакетов;
- чувствительность трафика к потерям и искажениям пакетов.

В отношении предсказуемости скорости передачи данных трафик приложений делится на два больших класса:

- потоковый трафик (stream);
- пульсирующий трафик (burst).

Приложения с потоковым трафиком порождают равномерный поток данных, который поступает в сеть с постоянной битовой скоростью (Constant Bit Rate, CBR). При использовании метода коммутации пакетов трафик таких приложений представляет собой последовательность пакетов одинакового размера (равного B бит), следующих друг за другом через один и тот же интервал времени T (рис. 7.1).

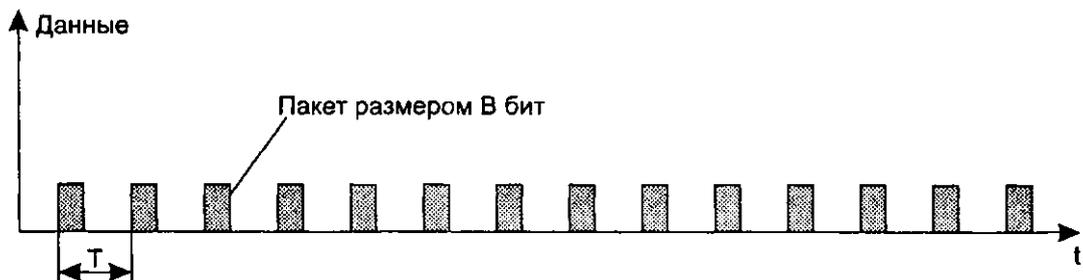


Рис. 2.2. Потоковый трафик

Постоянная скорость потокового трафика (CBR) может быть вычислена путем усреднения на одном периоде:

$$\text{CBR} = V/T \text{ бит/с} \quad (1)$$

В общем случае постоянная скорость потокового трафика меньше номинальной максимальной битовой скорости протокола, с помощью которого передаются данные, так как между пакетами существуют паузы.

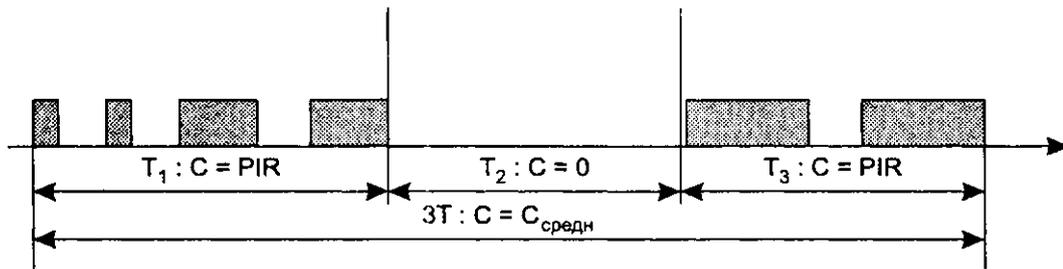


Рис. 2.3. Пульсирующий трафик

Приложения с пульсирующим трафиком отличаются высокой степенью непредсказуемости, когда периоды молчания сменяются пульсацией, в течение которой пакеты «плотно» следуют друг за другом. В результате трафик характеризуется переменной битовой скоростью (Variable Bit Rate, VBR), что иллюстрирует рис. 7.2.

На рисунке показано три периода измерений T_1 , T_2 и T_3 . Для упрощения расчетов принято, что пиковые скорости на первом и третьем периодах равны между собой и равны PIR, а все три периода имеют одинаковую длительность T . Учитывая это, можно вычислить величину пульсации V , которая равна количеству битов, переданных на периоде пульсации:

$$V = \text{PIR} \times T \quad (2)$$

Таким образом, величина пульсации для периодов T_1 и T_3 равна V , а на периоде T_2 — нулю.

Для приведенного примера можно подсчитать коэффициент пульсации. Так как пиковая скорость на периоде T_1 (или T_3) равна V/T , а средняя скорость на суммарном периоде $T_1 + T_2 + T_3$ равна $2V/3T$, то коэффициент пульсации равен $3/2$ [17].

Чувствительность трафика к задержкам пакетов. Еще один критерий классификации приложений по типу трафика — чувствительность к задержкам пакетов и их вариациям. Далее перечислены основные типы приложений в порядке повышения чувствительности к задержкам пакетов:

- Асинхронные приложения.
- Изохронные приложения.
- Сверхчувствительные к задержкам приложения

Чувствительность трафика к потерям и искажениям пакетов. Здесь обычно делят приложения на две группы.

Приложения, чувствительные к потере данных и приложения, устойчивые к потере данных.

Классы приложений. Устойчивых сочетаний характеристик, описывающих определенный класс приложений, существует не так уж много. Так, при стандартизации технологии ATM, которая изначально разрабатывалась для поддержания различных типов трафика, были определены 4 класса приложений: А, В, С и D. Для каждого класса рекомендуется использовать собственный набор характеристик QoS. Кроме того, для всех приложений, не включенных ни в один из этих классов, был определен класс X, в котором сочетание характеристик приложения может быть произвольным.

Классификация ATM является на сегодня наиболее детальной и общей, она не требует от нас знания технологий, используемых для передачи этих типов трафика, поэтому приведем ее здесь

Таблица 2.1

Классы трафика [16]

Класс трафика	Характеристики
А	Постоянная битовая скорость, чувствительность к задержкам, передача с установлением соединения (например, голосовой трафик, трафик телевизионного изображения). Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, задержка, джиттер
В	Переменная битовая скорость, чувствительность к задержкам, передача с установлением соединения (например, компрессированный голос, компрессированное видеоизображение). Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, пульсация, средняя скорость передачи данных, задержка, джиттер
С	Переменная битовая скорость, эластичность, передача с установлением соединения (например, трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам с установлением соединений — frame relay, X.25, TCP). Параметры QoS: пиковая скорость передачи данных, пульсация, средняя скорость передачи данных
Д	Переменная битовая скорость, эластичность, передача без установления соединения (например, трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам без установления соединений — IP/UDP, Ethernet). Параметры QoS не определены
Х	Тип трафика и его параметры определяются пользователем

Приведенная классификация приложений лежит в основе типовых требований к параметрам и механизмам обеспечения качества обслуживания в современных сетях.

Категории трафика услуг телекоммуникаций. Всего на уровне АТМ определено пять категорий услуг, которые поддерживаются одноименными службами:

— CBR — услуги для трафика с постоянной битовой скоростью;

— rt-VBR — в реальном времени с переменной скоростью для трафика, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и синхронизация источника и приемника;

— nrt-VBR — не в реальном времени с переменной скоростью для трафика, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника;

— UBR — с незаданной заранее скоростью для трафика, не предъявляющего требований к скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника;

— ABR — с доступной скоростью для трафика, с переменной скоростью, требующего соблюдения некоторой минимальной скорости передачи и не требующего синхронизации источника и приемника.

Аудио- и видеоинформация требует передачи с постоянной скоростью, т.е. службы CBR. Та же информация, но сжатая при помощи алгоритма MPEG, требует передачи с постоянной скоростью или в реальном времени с переменной скоростью [17].

2.2. Принципы построения оптических транспортных сетей телекоммуникаций поверх SDH

В настоящее время мы наблюдаем новый виток развития технологии SDH, связанный с адаптацией исторически наиболее распространенных систем передачи к условиям передачи трафика данных, и особенно IP. На текущий момент развитие таких систем связано с широким внедрением протокола преобразования GFP, который позволяет соединить гибкость IP-сетей с высокой стабильностью и управляемостью систем SDH. В результате говорят о переходе к системам SDH нового поколения – Next Generation SDH или NGSDH.

Транспортная инфраструктура выстраивается с учетом текущего и перспективного трафика услуг. Основным становится трафик IP, в связи с чем транспортные сети должны очень быстро реагировать на запросы по обслуживанию. Такие возможности создаются за счет внедрения в транспортные сети протоколов сигнального управления, построенных на основе GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching). Оптическая транспортная платформа на основе ASON и GMPLS [32], как часть мультисервисной инфраструктуры, обеспечит снижение затрат операторов на предоставление новых услуг при высокой надежности, гибкости и открытости транспортной сети.

2.2.1. Отображение моделей и технологий транспортных сетей в оптических мультисервисных транспортных платформах

На рис. 2.5. представлено отображение рассмотренных моделей и технологий мультиплексирования в общей архитектуре мультисервисной транспортной платформы (MSTP, Multi-Service Transport Platform), где указаны возможные источники информационной нагрузки, протоколы согласования и сочетание транспортных технологий. Представление современных транспортных решений в виде платформы привело к созданию ещё одного класса оборудования – мультисервисных платформ предоставления услуг (MSPP, Multi-Service Provisioning Platform) и коммутации (MSSP, Multi-Service Switching Platform).

Обозначения источников информационной нагрузки на рис. 2.5:

PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy – плезиохронная цифровая иерархия;

N-ISDN, Narrowband Integrated Services Digital Network – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (У-ЦСИС);

IPX, Internet Packet eXchange – межсетевой обмен пакетами;

SANs, Storage Area Networks – сети хранения данных;

iSCSI, internet Small Computer System Interface – протокол для установления взаимодействия и управления системами хранения данных, серверами и клиентами;

HDTV, High-definition television – цифровое телевидение высокой четкости;

ESCON, Enterprise Systems Connection – соединение учрежденческих систем;

FICON, Fiber CONnection – волоконное соединение для передачи данных;

PPP, Point-to-Point Protocol – протокол “точка-точка”;

HDLC, High-level Data Link Control – высокоуровневый протокол управления на уровне звена передачи данных;

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

Для построения ядра мультисервисных сетей используются устройства нового поколения — мультисервисные коммутаторы/маршрутизаторы, которые поддерживают все современные протоколы IP, MPLS, ATM, FR с обеспечением качества и безопасности обработки трафика.

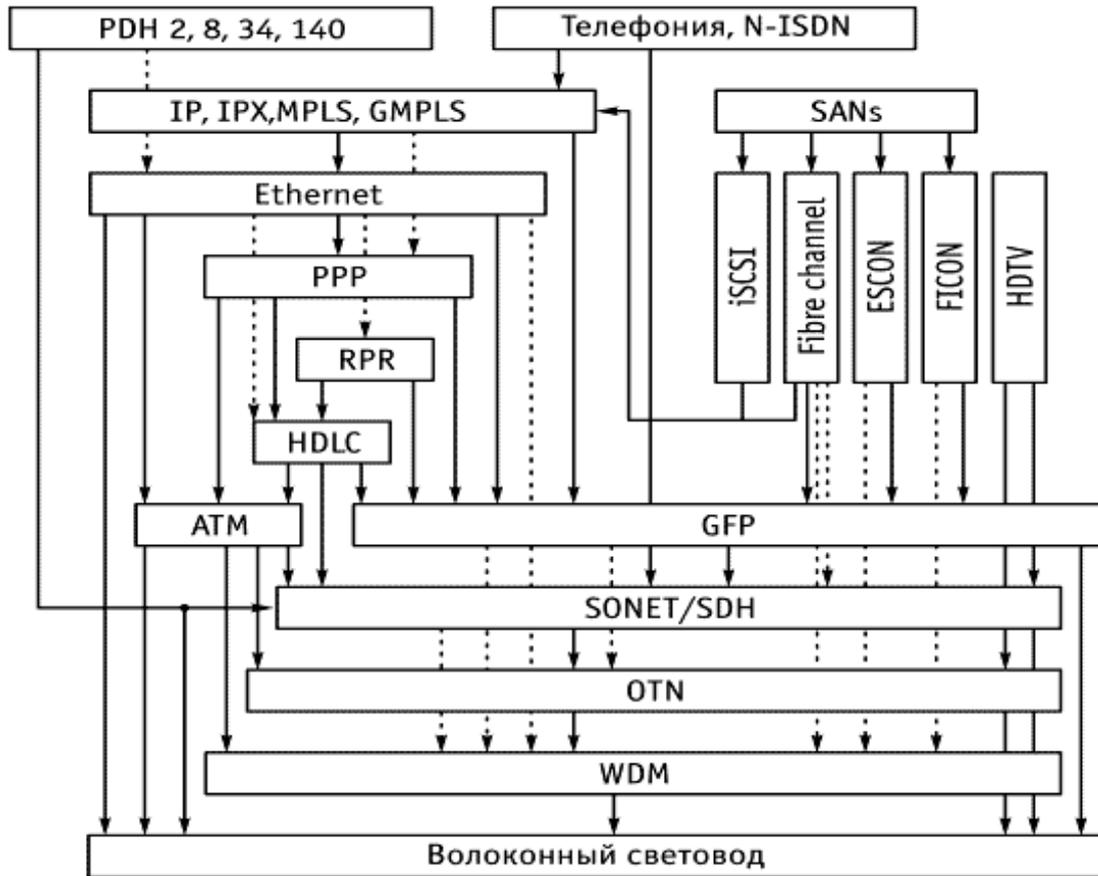


Рис. 2.5. Обобщенная архитектура оптической мультисервисной транспортной платформы [4]

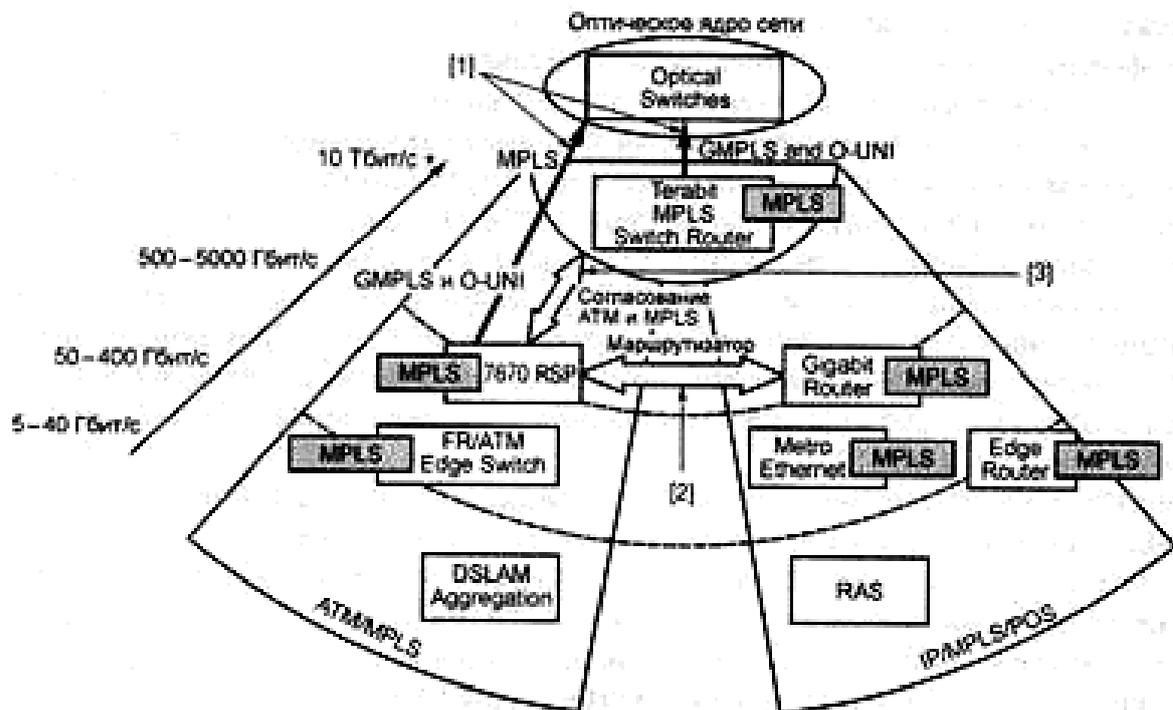


Рис. 2.6. Реализация схемы конвергенции [17]

Из схемы конвергенции, реализованной на платформе Alcatel 7670 RSP, у оператора связи имеется три варианта развития опорной сети:

1) сохранить самостоятельность двух наложенных сетей (АТМ и IP), обеспечивая независимую конвергенцию каждой из них с помощью оптики, путем прямого подключения к оптическим сетям с использованием протокола универсальной многопротокольной коммутации меток (Generalized Multiprotocol Label Switching, GMPLS) и оптических интерфейсов UNI;

2) выгодно реализовать широкие возможности IP-маршрутизации и управления трафиком, поддерживаемые платформой Alcatel 7670 RSP, и использовать ее в качестве платформы конвергенции, направляющей транспортные потоки как АТМ, так и IP, непосредственно на оптическую магистраль;

3) использовать платформу Alcatel 7670 RSP в качестве шлюза для традиционного трафика, направляемого в сторону опорной сети IP/MPLS. Для реализации данного решения компания Alcatel совместно с ведущими операторами связи и поставщиками телекоммуникационного оборудования, утвердила процедуру урегулирования параметров АТМ и MPLS (АТМ/MPLS Mediation) в органах стандартизации.

2.2.2. Технология NGSDH

Первым техническим решением для адаптации технологии SDH к условиям передачи пакетного трафика стала процедура виртуальной конкатенации (VCAT) и формирования в системе NGSDH виртуальных коридоров произвольной пропускной способности.

Метод конкатенации позволил расширить скорость передачи данных от точки к точке сети SDH, формируя определенный набор «виртуальных труб» фиксированного размера (табл. 2.1)

Таблица 2.2.

Емкости конкатенированных контейнеров VC-4-Nc [14]

Тип VC	Емкость, кбит/с	Интервал выравнивания, байт	Транспорт SDH
VC-4	149760	3	STM-1
VC-4-4c	599 040	12	STM-4
VC-4-16C	2 396160	48	STM-16
VC-4-64C	9584 640	192	STM-64
VC-4-256C	38 338 560	768	STM-256

Процедура виртуальной конкатенации отличается тем, что позволяет более эффективно использовать план маршрутизации. Принятый в методе последовательной конкатенации принцип сцепки требует одного маршрута передачи контейнеров, тогда как для VCAT возможна передача каждого контейнера по своему пути (рис. 2.4.).

Использование VCAT позволяет формировать в системе NGSDH различные коридоры с разным назначением, что решает задачу объединения в единой транспортной сети пакетного трафика с трафиком традиционных сетей TDM. Кроме того, применение VCAT позволило существенно увеличить КПД систем NGSDH, так что эта технология оказалась конкурентоспособной даже с новыми технологиями транспортных сетей NGN (OTN, MPLS, PWE3 и пр.).

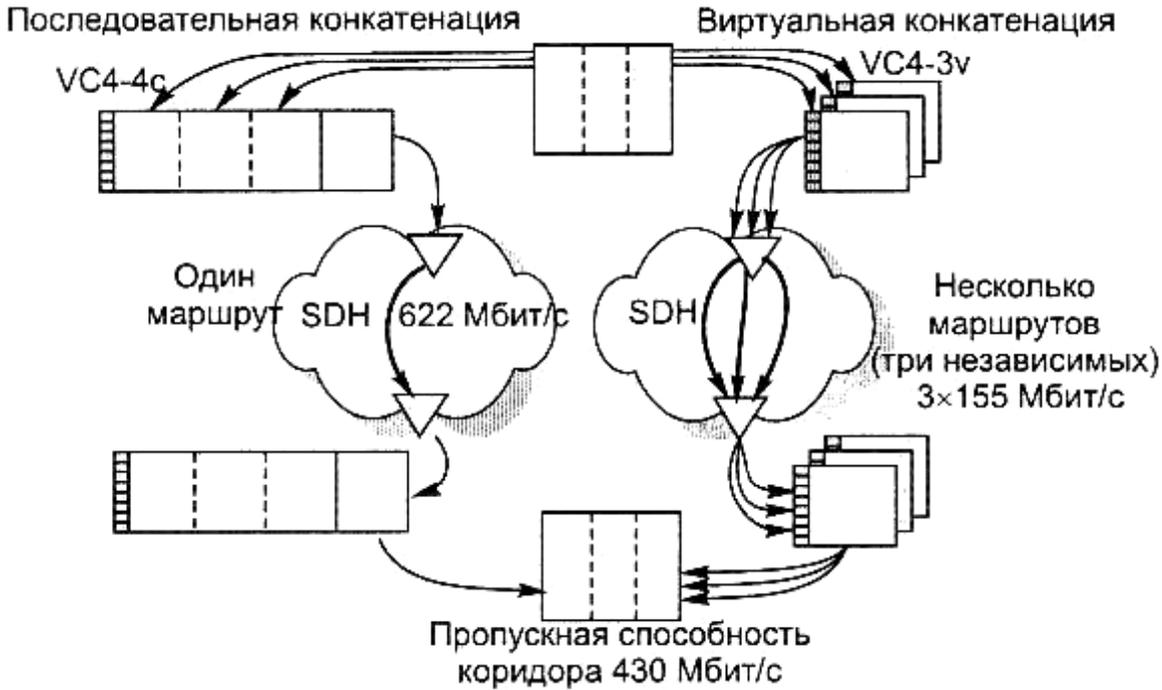


Рис. 2.4. Процедуры конкатенации и VCAT

Но в таком виде системе NGSDH не хватает гибкости. Нужно учесть, что трафик на те или иные направления может менять свою структуру. В результате желательно было бы не только создавать в рамках сети NGSDH виртуальные коридоры для передачи пакетного трафика, но и без отключения канала изменять размер виртуального коридора. Этот механизм получил название LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme — схема регулирования размера какала). В основе LCAS лежит использование внутри системы NGSDH специальной системы сигнализации, которая позволяет расширять или сужать размер виртуального коридора по командам из центра управления сетью.

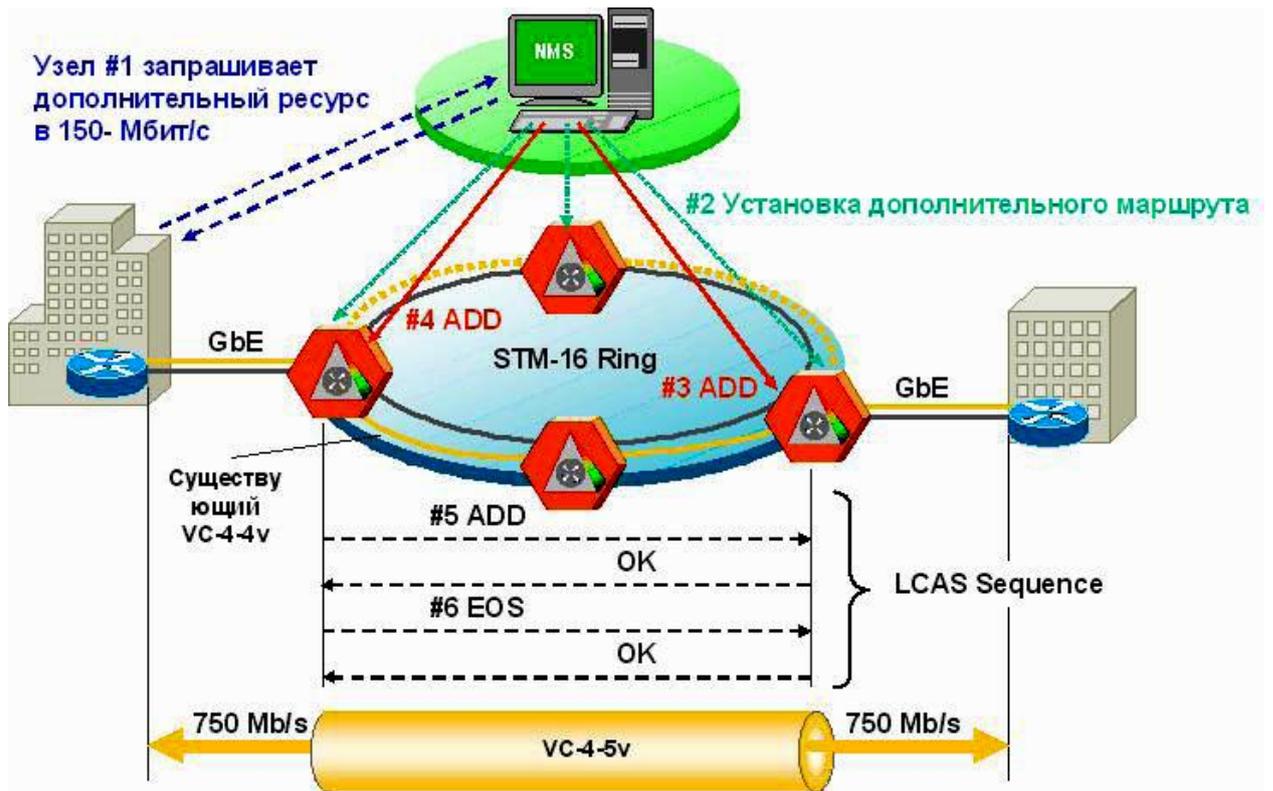


Рис. 2.5. Принцип работы LCAS

Таким образом, процедура VCAT была дополнена процедурой LCAS, что позволяет формировать в системе NGSDH «упругие» виртуальные коридоры, которые могут менять свой размер.

После создания виртуальных коридоров в сети NGSDH разработчики занялись вопросом оптимальной загрузки пакетного трафика в виртуальные коридоры. Система сигнализации LCAS позволяет управлять размером виртуального коридора, но не делает это оперативно, в режиме реального времени. В то же время характерной чертой пакетного трафика является его изменчивая структура, так что интенсивность передачи данных может существенно меняться. Для повышения эффективности использования ресурсов NGSDH необходимо предусмотреть механизм выравнивания интенсивности трафика, что и было сделано в несколько этапов.

Первоначально проблему передачи по системе SDH пакетного трафика решали существующими методами с использованием технологий HDLC или ATM (рис. 2.6.). Первый метод получил название PoS (Packet over SDH).

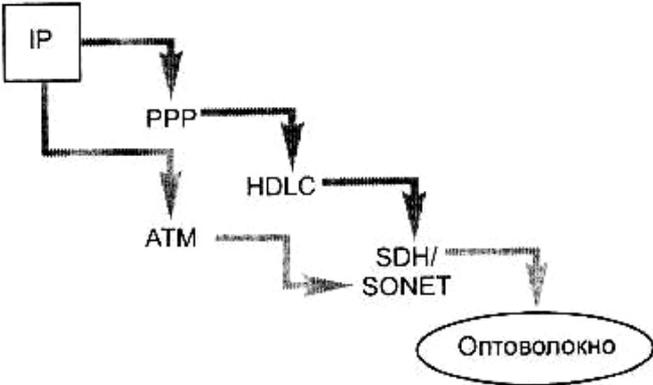


Рис.2.6. Варианты передачи пакетного трафика через сеть SDH.

Но технология PoS использовала промежуточное преобразование и дейтаграммы IP проходили несколько стадий обработки. К тому же, основным недостатком алгоритма PoS является низкий КПД использования ресурса системы, как это видно на рисунке (7E – пустые ячейки) [14].

SDH	POH	7E	HDLC framing			7E	7E	7E	
		7E	7E	7E	HDLC framing		7E		
		7E	7E	7E	7E	7E	7E	7E	
		7	7E	HDLC framing			7E	7E	7
		7E	7E	HDLC framing			7E	7E	
Pointer		7	7E	7E	HDLC framing		7E	7	
		7E	7E	7E	7E	7E	HDLC fram		
SDH		ing	7E	7E	HDLC framing		7E		
		7E	7E	7E	HDLC framing		7E	7E	
		7E	7E	HDLC framing			7E	7E	7
	7E	HDLC framing			7E	7E	7E		
	7	7E	HDLC framing			7E	7E	H	

Рис. 2.7. Процедура загрузки HDLC в систему SDH

Стремясь найти технологию, которая бы учитывала особенности пакетного трафика и одновременно не была бы слишком дорогой, разработчики предложили компромиссное решение в виде протокола GFP (General Framing Protocol), рассмотренного в предыдущей главе.

Наибольшую эффективность использования ресурса систем передачи в настоящий момент имеет объединенное решение VCAT + LCAS + GFP. В этой триаде каждый компонент выполняет свою роль:

- VCAT позволяет повысить эффективность использования ресурса систем передачи;
- LCAS добавляет гибкости и позволяет повысить динамику использования сети;
- GFP эффективно адаптирует пакетный трафик к загрузке в систему SDH.

За счет этой триады технология NGSDH оказалась достаточно эффективной для того, чтобы сохранить свои позиции в условиях перехода к NGN.

2.2.3. Автоматически коммутируемые транспортные сети ASON

Развитие транспортных оптических сетей переходит на новое направление, получившее изначально название «Автоматически коммутируемые транспортные сети» (ASTN, Automatic Switched Transport Network), а в дальнейшем «Автоматически коммутируемые оптические сети» (ASON Automatic Switched Optical Network). Это закреплено рекомендациями МСЭ-Т G.807, G.8080, G.8081, G.7715, появление которых явилось составной частью появления сетей следующего поколения NGN [4].

Общая структурная модель ASON определена рекомендациями МСЭ-Т G.807, G.8080 [33]. Структура модели представлена тремя плоскостями (рис. 2.8):

1. Плоскость оптической транспортной сети (OTN) с соответствующими коммутаторами (Switch) и интерфейсами пользователей UNIData (User Network Interface Data) – предусматривает функции, требуемые для транспортировки сигналов пользователей ASON.

2. Плоскость сигнального управления с контроллерами ООС (Optical Connection Controller), межузловыми интерфейсами NNI (Network-Node

Interface), сигнальными интерфейсами пользователей UNIControl, каналами передачи данных, интерфейсами управления соединениями в коммутаторах CCI (Connection Control Interface) – предусматривает функции по установлению непрерывных связей для сигналов пользователей с такими свойствами, как продолжительность, время связи, защита соединения, задание полосы частот и т.д. Приемлемым решением для реализации возможностей этой плоскости служит протокол GMPLS.

3. Плоскость сетевого административного управления с интерфейсом управления NMI (Network Management Interface) – связана с транспортной плоскостью и плоскостью сигнального управления выделенными каналами. Функциональную основу этой плоскости составляют базовые положения концепции управления телекоммуникациями (TMN). На этом основании ASON включает систему сетевого управления NMS (Network Management System).

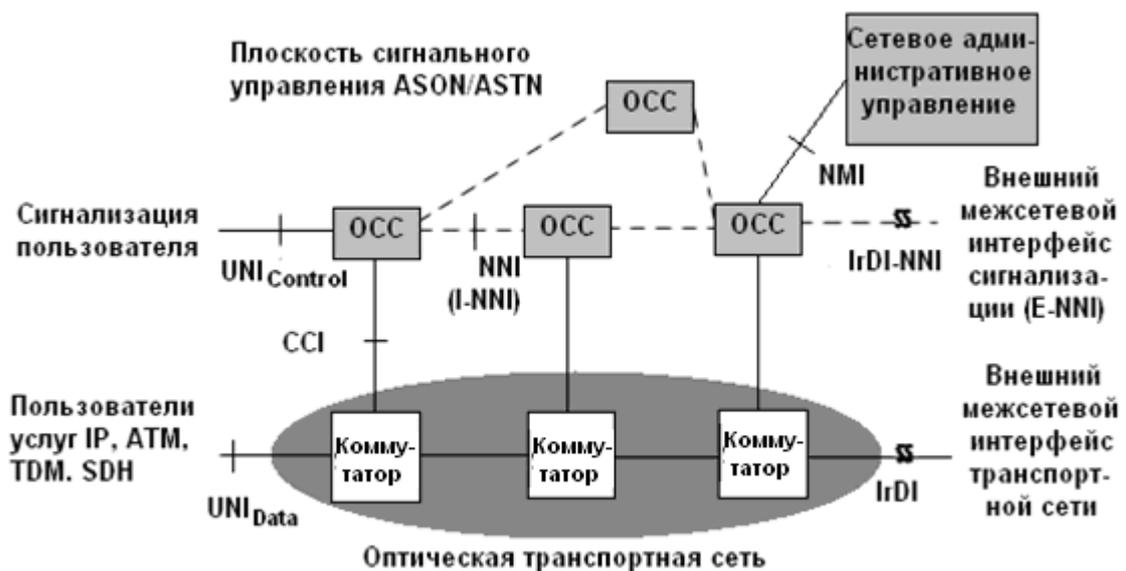


Рис. 2.8. Общая структурная модель ASON

Общая структура ASON не является обособленной структурой определенной области или домена. Сети ASON могут строиться из отдельных доменов с налаженными взаимодействиями через внешние

интерфейсы транспортной и сигнальной сетей IrDI (Inter Domain Interface) или E-NNI (External Network-Network Interface).

Сеть ASON предназначена для коммутации оптических связей в пределах оптической транспортной сети под управлением ее собственной сигнальной сети.

Логическое построение сети ASON определяет наличие трех отдельных логических плоскостей. Функции трехуровневой модели представлены в двух различающихся структурах:

- физическом ядре и границе сети
- системе взаимодействия клиент-услуга (или клиент-сервер).

Основные функции ASON связаны с коммутацией оптических каналов в пределах сети. Коммутация может быть инициирована как плоскостью сигнального управления по запросу клиента, так и плоскостью административного управления.

Функции ядра сети:

- Поддержка открытой топологии сети.
- Поддержка оптической маршрутизации
- передача сообщений сигнализации.
- Непрерывная защита/восстановление.
- Поддержка автоматически устанавливаемого непрерывного оптического канала OCh, подготавливаемого к работе,
- Управление узлом и его связями.
- Поддержка безопасности сетевых узлов и сети.

Функциональные возможности на границе ASON:

- Пограничные узлы ASON EN (Edge Nodes), фиксируют входящие и исходящие точки для потоков трафика клиентов и оконечные точки оптических каналов. Потоки трафика клиентов, исходящие в оптическую сеть от маршрутизаторов IP, коммутаторов ATM, кроссовых коммутаторов и мультиплексоров SDH, направляются на входы EN. С другой стороны,

межузловой трафик поддерживают оптические каналы OCh, которые коммутируются в узлах оптической кроссовой коммутации OXC и заканчиваются в пограничных узлах.



Рис. 2.9. Услуги по согласованию пограничного узла

- Функциональные возможности физических интерфейсов должны обеспечить адаптацию циклов или полосы пропускания между пользовательскими устройствами и пограничными узлами ASON.

Плоскость сигнального управления ASON предусматривает функции по установлению непрерывных связей для сигналов пользователей.

Для реализации сигнальной системы ASON предложены два протокола PNNI (Private Network Node Interface) (G.7713.1) и GMPLS (General MPLS).

2.3. Исследование принципов построения полностью оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе технологии поверх SDH

Недостатки существующих смешанных оптико-электронных сетей, то им присущи следующие принципиальные недостатки:

- усложненная структура в виде технологических цепочек;
- ограничение протяженности чисто оптических сегментов. Необходимость электронной (электрической) регенерации цифровых сигналов, что нарушает непрерывность прозрачных оптических каналов;
- функциональные ограничения оптических сегментов в части коммутации, резервирования, телеконтроля, мониторинга качества передачи и т.д.;
- относительно ограниченная производительность. [12]

Модель фотонной сети делит сеть на два уровня: уровень сервиса и фотонный транспортный уровень. Новая архитектура видится как комбинация преимуществ фотонной коммутации и новаций в технологии DWDM. Она доставляет мультигигабитную потоковую емкость и обеспечивает технически управляемые на уровне длин волн сетевые интерфейсы для сервисных платформ. Последние включают: маршрутизаторы, ATM-коммутаторы и мультиплексоры ввода-вывода SONET/SDH, которые перераспределены с транспортного на сервисный уровень.

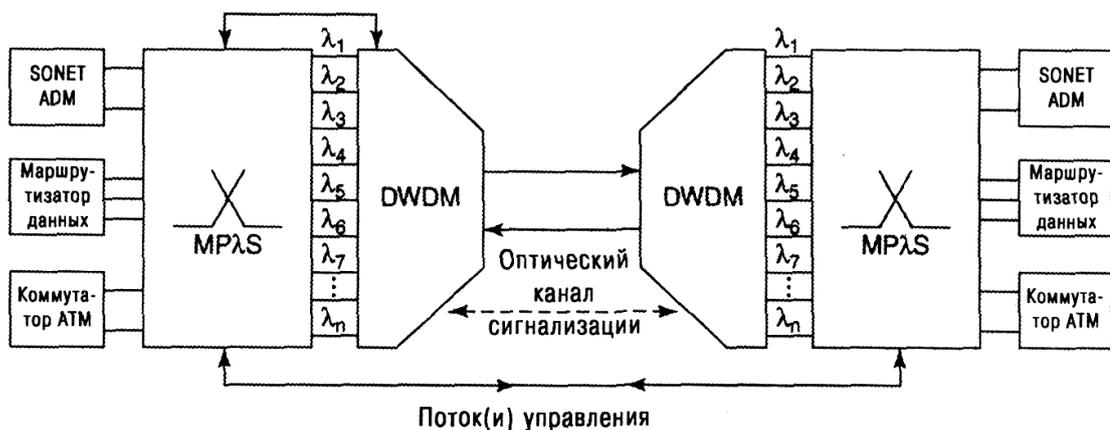


Рис. 2.10. Модель фотонной сети

Архитектура AON. Полностью оптические сети могут строиться на любом масштабе: от локального, например, объединяя парк суперкомпьютеров, до глобального, где в перспективе они, безусловно, займут место главных магистралей. Общая структура глобальной

информационной сети может быть весьма разнообразной, столь же разнообразной, как и число различных приложений, которые в ней используются. Положение оптического уровня или уровня полностью оптической сети в контексте архитектуры, глобальной сети показано на рис. 2.11 [15].



Рис. 2.11. Оптический уровень как всеобъемлющая структура глобальной сети

2.3.1. Классы полностью оптических транспортных сетей

Классификация сетей основана на типах используемых элементов: сети с оптическими линиями, сети широковещательной передачи с выбором нужной длины волны (сети типа B&S), сети с маршрутизацией длин волн (сети типа WR) и фотонные сети с пакетной коммутацией. Эти типы сетей представлены в табл. 2.4. с указанием, какие типы элементов в них могут быть использованы.

Таблица 2.3.

Типы оптических элементов и основанные
на них классы оптических сетей [15]

Типы оптических элементов	Классы оптических сетей			
	Сети с оптическими линиями	Сети типа B&S	Сети типа WR	Фотонные сети с коммутацией пакетов
Оптические элементы некоммутирующего типа	√	√	√	√
Настраиваемые трансиверы	X	√	(+/-)	(+/-)
Коммутаторные элементы (ОХС и OADM)	X	X	√	(+/-)
Коммутаторы оптических пакетов	X	X	X	√

Знак √ используется для обозначения оптических элементов некоммутирующего типа; знак X — для обозначения коммутаторных элементов, знак (+/-) используется для обозначения возможности наличия или отсутствия данного типа оптического элемента в данном классе оптических сетей.

На рис. 2.12. показаны классы оптических сетей. На нем показаны три группы двойных колонок: (а), (б) и (в). В колонке (а) перечислены все оптические сети, использующие электронную коммутацию. В колонке (б) перечислены сети типа B&S с одним скачком и фотонные сети пакетной коммутации. Эти классы сетей являются примерами сетей, использующих полностью оптическую коммутацию. В колонке (в) перечислены сети типа B&S со многими скачками и сети типа WR. Эти типы сетей используют гибридные коммутаторы оптоэлектронного типа.

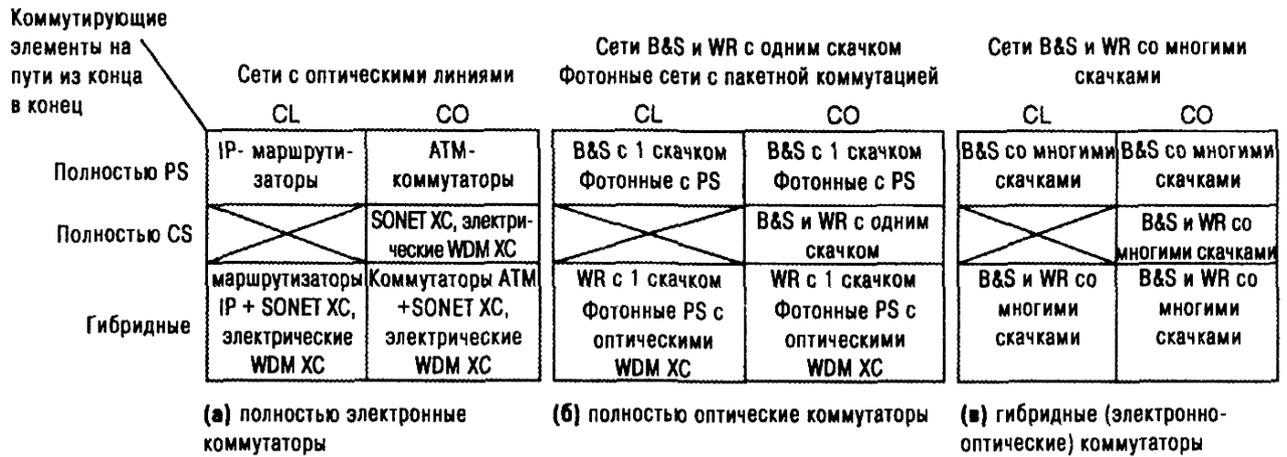


Рис. 2.12. Классификация оптических сетей

Где: B&S - широковещательная передача с выбором нужной длины волны, WR — маршрутизация длин волн, CL - без установления соединения - дейтаграммная, CO — с предварительным установлением соединения, CS — с коммутацией цепей, PS - с коммутацией пакетов, XC - кросс-коммутация.

2.3.2. Полностью оптические сети с коммутацией пакетов

Коммутация пакетов в AON представляет совершенно новое направление развития сетей. Это означает, что должны быть разработаны совершенно новые схемы маршрутизации, новые архитектуры, ориентированные на технологию AON. – Все схемы маршрутизации оптических потоков должны быть единообразны для всей AON с коммутацией пакетов. Это требование для сетей с коммутацией каналов было более мягким и ограничивалось, в основном, только наличием единого частотного плана. – В технологиях полностью оптических сетей одной из сложных задач считается создание оптических буферов. Поэтому предпочтение будет отдаваться оптическим пакетным коммутаторам, использующим технологию коммутации без буферизации (cut through). – Новые архитектуры должны учитывать специфические особенности каждого оптического домена, чтобы выгодно использовать их для упрощения

конструкции. Далее рассмотрены два метода пакетной коммутации в AON: последовательная битовая и параллельная битовая коммутация пакетов.

Сеть с последовательной битовой коммутацией. Оптическая последовательная битовая коммутация BSPS (bit-sequential packet switching) - это метод прямого управления электроникой коммутационных элементов, в отличие от методов, используемых в сетях с коммутацией каналов. При использовании BSPS заголовок пакета в канале взятой длины волны кодируется последовательностью из p бинарных битов (битовая 1 определяется наличием оптического сигнала, а битовый 0 - его отсутствием). Эти биты устанавливают коммутатор в надлежащее состояние, позволяя следующему за заголовком телу пакета свободно идти через коммутатор к соответствующему выходному полюсу. Поскольку коммутатор прозрачен к телу пакета, то такая сеть сохраняет название полностью оптической сети. Для заголовка из p битов существует 2^p различных адресов узлов сети. Волновое мультиплексирование позволяет значительно увеличить передающую емкость, но приводит к дополнительному усложнению.

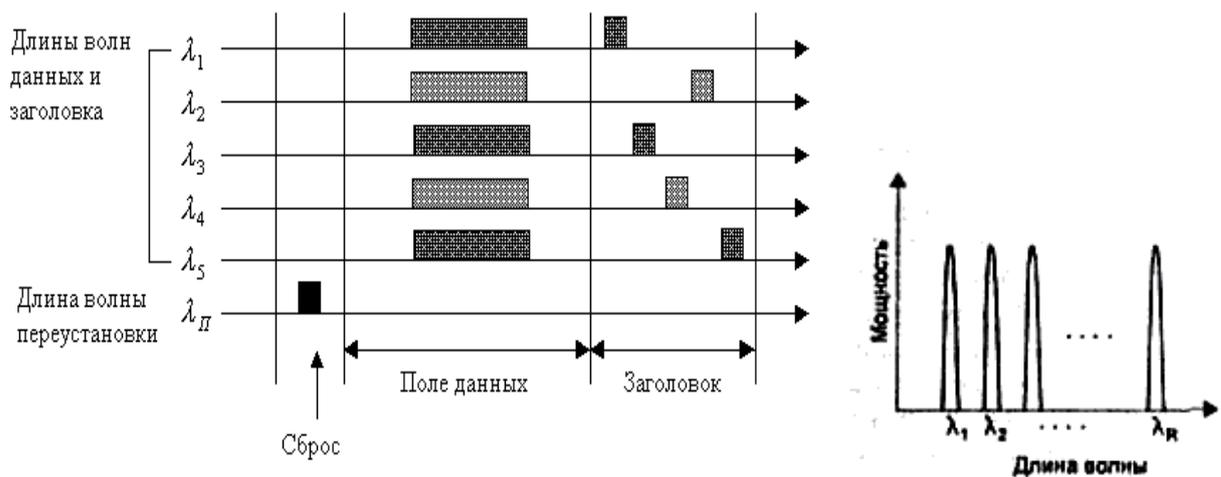


Рис. 2.13. Структура пакета в сети SWANET [15]

Самомаршрутизирующаяся сеть с волновой адресацией SWANET (Self-routed Wavelength-Addressable NETWORK) является улучшением бинарной

BSPS архитектуры [30], SWANET использует преимущества BSPS и WDM, в результате чего значительно увеличивается допустимое число различных адресов, устанавливаемых битами заголовков пакетов (рис. 2.16.), SWANET имеет аналогичную BSPS структуру пакета. Заголовок, за которым следует поле данных, кодируется последовательностью из p битов, охватывая сразу несколько волновых каналов. Заголовок и поле данных используют один и тот же набор длин волн. Если число длин волн k , то каждый бит заголовка представляется единицей (есть сигнал) на одной из длин волн, в то время как на остальных $k-1$ каналах сигнала в это время нет. Таким образом, полное число различных конфигураций заголовка (максимальное число конечных узлов сети) составляет k^p . Ограничением SWANET являются дисперсия и поперечные помехи.

Сеть с параллельной битовой коммутацией. Две различные техники кодирования предложены для реализации сетей с параллельной битовой коммутацией BPPS (bit-parallel packet switching): техника мультиплексирования под-несущих SCM (sub-carrier multiplexing) и техника многоволновой BPPS. Обе техники используют отдельные каналы в одном и том же волокне для передачи данных и собственно заголовка, на основании которого происходит переключение состояний коммутаторов. Заголовок пакета передается теперь не последовательно, когда он предшествовал передаче поля данных пакета, а параллельно с данными, что позволяет увеличить пропускную способность.

В технике SCM данные и заголовок кодируются как две различные поднесущие оптического носителя и далее передаются одновременно (рис. 2.14. а). SCM позволяет эффективно использовать имеющийся спектр за счет ограничений битовой скорости, которая должна быть меньше, чем частота поднесущей. Таким образом, техника SCM полезна когда весь спектр сигнала данных ограничен, т. е. битовая скорость данных не очень высока.

Модификацией SCM является метод, при котором данные передаются на основном носителе, а заголовок мультиплексируется на поднесущую. В этой технике частота поднесущей не ограничивает битовую скорость передачи данных. Поскольку заголовок не требует высокой битовой скорости передачи, то для него предельное соотношение сигнал/шум может быть значительно ниже, что допускает без ущерба большее затухание сигнала в волоконно-оптической линии. Данный метод демонстрировался для скорости передачи данных 2,5 Гбит/с и для заголовка 40 Мбит/с, который мультиплексировался на поднесущую шириной 3 ГГц [15].

Многоволновая параллельная битовая коммутация - это техника кодирования, при которой для данных и для заголовка приписываются различные наборы длин волн. В отличие от традиционного волнового мультиплексирования, где каждый пакет связан с определенной длиной волны, в этой технике пакет (как и заголовок) связывается с несколькими длинами волн (рис. 2.14. б).

Ряд особенностей делают эту технику более предпочтительной по сравнению с SCM для использования в полностью оптических сетях. Во-первых, простая оптическая фильтрация волновых каналов выполняется легче, чем радиочастотное выделение поднесущих. Во-вторых, можно выполнить кодирование заголовка, так что заголовок будет распознаваться коммутатором, а коммутация будет происходить на пакетных скоростях вместо скоростей данных. И, наконец, поскольку отдельные источники излучения используются для каждой длины волны, то не возникает проблемы, связанной с потерей мощности [15].

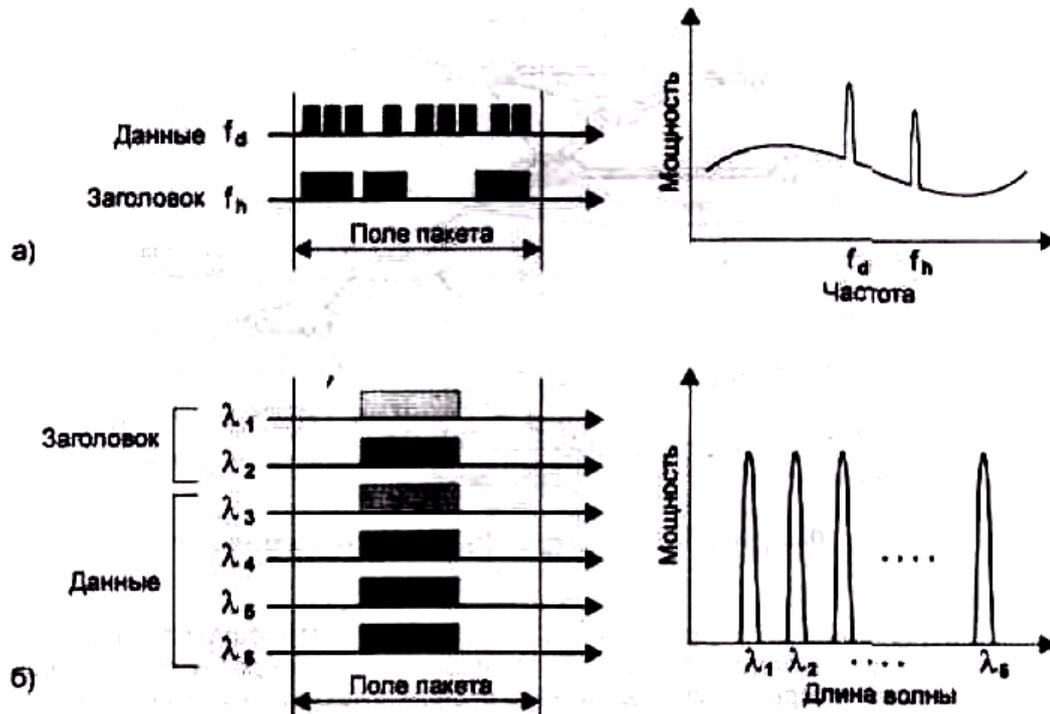


Рис. 2.14. Структура пакета в сетях: а) с техникой мультиплексирования поднесущих; б) с техникой многоволновой параллельной битовой коммутации

2.3.3. Оптические транспортные сети OTN

Транспортные технологии OTN во многом похожи на SDH, и призваны дополнить SDH, а не заменять его. OTN обеспечивает 100% прозрачность доставки многочисленных видов обслуживания разных поставщиков продукции, при сохранении того же уровня надежности, качества и управления качеством SDH.

Модель транспортной сети OTN-OTN (G.872, G.805) представлена двумя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень сети OTN и уровень пользователя.

Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней (рис. 2.15.): среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM); оптических секций ретрансляции OTS (Optical Transmission Section) и мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section); оптических

каналов OCh (Optical Channel) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков OTUk (Optical Transport Unit k) с включением в них блоков данных оптических каналов ODUk (Optical Data Unit k), которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов OPUk (Optical Channel Payload Unit k). Индекс k соответствует иерархической ступени OTN ($k=1,2,3,4$) и указывает на циклы различные по длительности и скорости передачи [4].

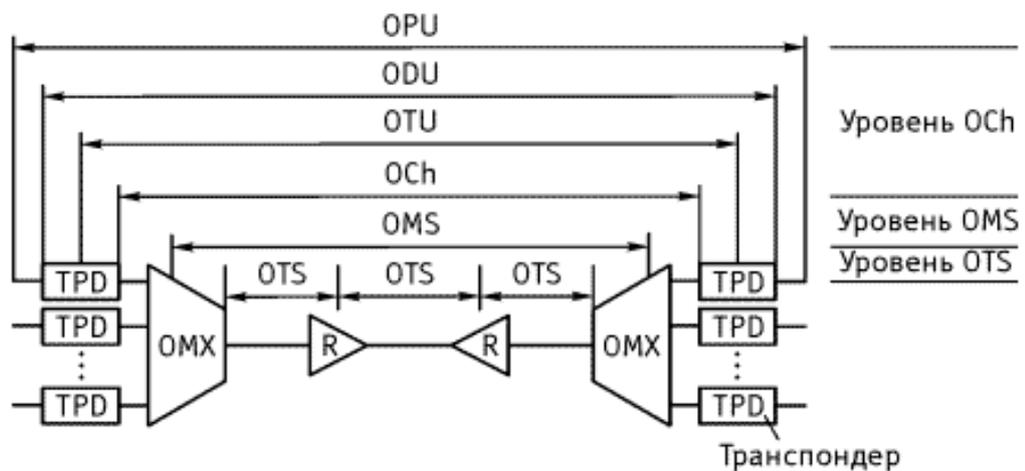


Рис.2.15. Соединение в транспортной сети OTN

Среда передачи в этой модели транспортной сети позволяет достигать скоростей передачи порядка 10 Тбит/с и более при скорости передачи в каждом из волновых каналов от 2.5 до 40Гбит/с, а в перспективе 120Гбит/с (OTU4).

Секция OMS может иметь гарантированную защиту благодаря дублированию передачи в альтернативной кабельной линии с соответствующими секциями ретрансляции. Нормированное время защитного переключения составляет 50 мс.

Оптический канал OCh в оптической сети образуется транспондерными блоками (TPD) и выполняет функции регенерации цифрового сигнала типа 3R. Также производится оптическая модуляция и детектирование, контроль качества передачи цифровых данных в блоках OTUk и ODUk, и т.д.

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

Уровень пользователя оптической транспортной сети OTN-OTN выполняет функции интерфейса между транспортной сетью и сетями пользователей транспортных услуг, к которым относятся сети SDH, ATM, Ethernet и др. Для эффективного согласования между сетями применяются различные протокольные решения по размещению данных пользователей в оптических каналах. Это протоколы: общей процедуры формирования кадра GFP; протокол защищаемого пакетного кольца или пакетного кольца с самовосстановлением RPR (Resilient Packet Ring) и др. Протоколы позволяют согласовать циклическую передачу данных в оптических каналах со случайной во времени передачей пакетов данных различной емкости от пользователей, например, пакеты IP, MPLS или Ethernet.

Сеть OTN предназначена для магистральных сетей связи с большим объёмом трафика и для сетей связи крупных городов-мегаполисов с развитой телекоммуникационной инфраструктурой.

ВЫВОДЫ

В результате исследования оптических транспортных сетей телекоммуникаций поверх SDH, трафика этих сетей, а также полностью оптических транспортных сетей можно заключить следующее:

- Информационной нагрузкой транспортных сетей связи является совершенно разнородный трафик, причем превалируют данные;
- Мультисервисные сети позволяют обрабатывать различный трафик, что делает их столь популярными;
- Телекоммуникационный трафик носит «взрывной» характер, объединенный пакетом услуг Triple Play;
- С появлением новых технических решений, таких как VCAT, LCAS и GFP, стало возможным создание транспортных сетей следующего поколения NGSDH, которые более гибкие, более эффективно используют ресурсы систем передачи, эффективно адаптируют пакетный трафик к загрузке в SDH контейнеры;
- Автоматически коммутируемые транспортные сети ASON с использованием протокола GMPLS создают управляющую плоскость, способную поддерживать как передачу данных IP, TDM, SDH и DWDM, так и интерфейсы оптической транспортной сети;
- Ряд недостатков смешанных оптоэлектронных систем связи и новые развивающиеся технологии привели к созданию полностью оптических транспортных сетей OTN, главным преимуществом которых является полная прозрачность.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХ SDN

3.1. Анализ качественных показателей оптических транспортных сетей телекоммуникаций

Основными качественными показателями системы передачи информации являются:

- пропускная способность;
- достоверность;
- надежность работы.

Пропускная способность системы (канала) передачи информации – наибольшее теоретически достижимое количество информации, которое может быть передано по системе за единицу времени. Пропускная способность системы определяется физическими свойствами канала телекоммуникаций и сигнала. От пропускной способности канала зависит максимально возможная скорость передачи данных по этому каналу.

Скорость передачи информации измеряется в бит/с и в бодах. Количество изменений информационного параметра сигнала в секунду измеряется в бодах. Бод – это такая скорость, когда передается один сигнал (например, импульс) в секунду, независимо от величины его изменения. Единица измерения бит/с соответствует единичному изменению сигнала в канале телекоммуникаций.

Достоверность передачи информации – передача информации без ее искажения.

Надежность работы – полное и правильное выполнение системой всех своих функций.

Готовность или коэффициент готовности канала связи определяется через относительное время (или через вероятность) безотказной работы канала связи:

$$A = (T - T_{\Pi}) / T, \quad (3)$$

где T — требуемое время работы канала связи, T_{Π} — суммарное время перерывов связи.

Зная требуемый коэффициент готовности, можно определить требования к надежности аппаратуры канала связи, которую характеризуют средним временем безотказной работы T_0 .

Для аппаратуры без ремонта (восстановления) во время выполнения задания (самолетная, ракетная, спутниковая аппаратура) надежность аппаратуры в соответствии с экспоненциальным законом надежности характеризуется вероятностью безотказной работы за время T выполнения задания $P_0(T) = e^{-T/T_0}$.

Надежность аппаратуры с возможностью ее восстановления (ремонта или замены неисправного ТЭЗ-а — типового элемента замены) характеризуется коэффициентом готовности аппаратуры

$$A_{\Gamma} = T_0 / (T_0 + T_{\text{В}}), \quad (4)$$

где T_0 — среднее время безотказной работы аппарата, $T_{\text{В}}$ — время восстановления аппаратуры [12].

3.1.1. Общие параметры синхронных линейных трактов

Показатели ошибок СЛТ должны отвечать качественным показателям Рекомендации ИТУ-Т G.958 [36]. В частности, СЛТ должны обеспечивать показатели ошибок не хуже «1-го класса качества оптических секций», определенного в этой рекомендации.

В структуре передаваемых оптических ЦЛС возникают отдельные области, которые способствуют появлению цифровых ошибок. Так, возможно закрытие глаз-диаграммы вследствие изменения среднего уровня сигнала вслед за плотностью комбинаций битов из-за межкаскадных связей по переменному току. Цифровые ошибки в принимаемых оптических ЦЛС возможны также из-за неспособности приемника синхросигнала системы тактовой синхронизации перекрыть области, возникающие в структуре ЦЛС, которые содержат мало синхроиформации (длинные серии нулей). Это явление еще больше усложняется, когда в структуре оптического ЦЛС за первым рядом байтов заголовка ЗОН, имеющего низкое содержание синхроиформации, особенно при передаче сигналов STM-N, где N- большое число (16, 64, 256), появляются длинные серии нулей.

Для проверки способности аппаратуры данной системы передачи SDH работать без ошибок в сложных (вышеуказанных) условиях, на стадии ее проектирования, в процессе сборки и монтажа оборудования можно использовать приведенный в приложении I к Рекомендации ITU-T G.958 метод оценки иммунитета блоков аппаратуры, который иначе называется соседние идентичные разряды CID (Consecutive Identical Digit).

Параметры фазового дрожания вводятся с целью контроля накопления фазовых дрожаний в СЛТ и относятся к сигналам оптических интерфейсов на уровнях STM. При этом в Рекомендации ITU-T G.958 задаются предельные нормы по трем параметрам:

- а) создание (возникновение) фазового дрожания;
- б) устойчивость к фазовому дрожанию;
- в) передача (коэффициент передачи) фазового дрожания.

Создаваемое одним регенератором среднеквадратическое значение фазового дрожания не должно превышать $0,01T$ И (тактового интервала) ЦЛС, если на входе регенератора фазовое дрожание отсутствует.

Устойчивость к фазовому дрожанию определяется как размах синусоидального дрожания во входном сигнале STM, который вызывает затраты оптической мощности 1 дБ в оптическом оборудовании. Это специальное испытание проводят для того, чтобы удостовериться, что в рабочих условиях (в процессе эксплуатации СЛТ) дополнительных затрат оптической мощности не потребуется. Аппаратура должна быть устойчива как минимум к фазовому дрожанию, соответствующему шаблону, указанному в Рекомендации ИТУ-Т G.958 для каждой скорости передачи оптического ЦЛС (в этом шаблоне для низких частот амплитуда фазового дрожания задана $1,5TИ$, а для высоких - $0,15TИ$).

Коэффициент передачи фазового дрожания определяется отношением фазового дрожания входного сигнала STM к фазовому дрожанию, приложенному к входному сигналу в зависимости от частоты, и задается отдельным шаблоном (усиление не более 0,1 дБ на НЧ с падением 20 дБ на декаду на ВЧ). При этом входное фазовое дрожание задается тем же шаблоном, что и для нормирования устойчивости к фазовому дрожанию.

3.1.2. Контроль качества функционирования систем передачи и сетей SDH

Отказ - это прекращение способности объекта выполнять требуемую функцию. Для классификации отказов используются понятия аномалии или нарушения и дефекта, или неисправности [13].

Аномалия (нарушение) - это расхождение между текущим и требуемым значениями параметра объекта. Аномалия может влиять или не влиять на способность объекта ТЭ выполнять требуемую функцию.

Дефектом (неисправностью) считается ограниченный перерыв в способности объекта ТЭ выполнять требуемую функцию. Он может требовать или не требовать действий по ТЭ в зависимости от оценки

результатов дополнительного анализа. Последовательные аномалии, вызывающие уменьшение способности объекта ТЭ выполнять требуемую функцию, рассматриваются как дефект.

Контроль качества функционирования систем передачи и сетей SDH -это процесс, при котором аномалии и дефекты, обнаруженные в объекте ТЭ, анализируются и проверяются. Анализ может быть внутренним или внешним относительно объекта ТЭ. Внешний анализ может выполняться либо местными, либо централизованными средствами.

Указанный контроль включает три непрерывно и совместно проводимых процесса контроля для выявления:

- 1) аномалий (кратковременный процесс);
- 2) дефектов (среднесрочный процесс);
- 3) ухудшенного качества функционирования (долговременный процесс).

До недавнего времени критерием, с помощью которого оценивалось качество передачи по цифровым трактам, был средний коэффициент ошибок Кош за длительный временной интервал. По мере того, как выяснялись причины возникновения ошибок в цифровой сети, становилось понятно, что этот критерий не является оптимальным. Он пригоден для оценки систем передачи, где имеют место случайные ошибки. Но в системах передачи большой емкости, например, систем передачи SDH уровней STM-16 и STM-64, которые в настоящее время широко применяются на транспортных сетях, возникают пачки цифровых ошибок. Эти ошибки нельзя точно оценить по одиночным ошибкам, так как свойства ошибок изменяются во времени.



Рис. 3.1. Процесс контроля качества [13]

Для оценки качества проектирования, построения и эксплуатации цифровых сетей ранее использовалась Рекомендация ИТУ-Т G.821, которая была основополагающей. Она определяла также направления разработки оборудования систем передачи и измерения ошибок, используемые в цифровых сетях.

Ошибочные биты могут быть однозначно опознаны при известной контролируемой последовательности, т. е. при измерении Кош с перерывом связи. Эти недостатки учтены в Рекомендации ИТУ-Т G. 826 [35], которая удовлетворяет следующим требованиям:

- 1) пригодность для оценки цифровых каналов и трактов с различными скоростями передачи;
- 2) возможность измерения параметров качества без перерыва связи;

- 3) независимость результатов оценки от среды передачи и от системы передачи (PDH или SDH);
- 4) ужесточение целевых величин оценки качества с учетом возможностей современных систем передачи SDH.

В соответствии с новой рекомендацией для оценки качества функционирования систем передачи SDH без перерыва связи используются встроенные устройства контроля ошибок, которые имеются в оборудовании систем передачи SDH. Это потребовало отказа от измерения ошибок по битам и перехода к измерению «блочных» ошибок.

Блок определяется как группа следующих друг за другом битов, которые могут быть закреплены за исследуемым соединением (трактом). Контроль основан на наблюдении за следующими четырьмя различными показателями (событиями) ошибок:

- 1) блок с ошибками EB (Errored Block) - блок, в котором имеется одна или несколько ошибок по битам;
- 2) секунда с ошибками ES (Errored Second) - интервал времени в одну секунду, в котором имеется один блок с ошибками или несколько блоков с ошибками;
- 3) секунда с серьезными ошибками (или секунда, пораженная ошибками) SES (Severely Errored Second) - отрезок времени в одну секунду, который содержит более 30 % блоков с ошибками или, по крайней мере, один период с большим количеством ошибок, или сильно пораженный ошибками период;
- 4) фоновая блочная ошибка BBE (Background Block Error) - блок с ошибками, не относящийся к секунде, пораженной ошибками, т. е. к SES. Этот вариант называют также последовательными секундами с серьезными ошибками CSES (Consecutive Severely Errored Seconds).

Практически контролируются (измеряются) относительные величины, которые в действующих нормах называются коэффициентами ошибок:

- 1) коэффициент ошибок по секундам с ошибками ESR (Errored Second Ratio) - отношение секунд с ошибками к общему числу секунд в интервале измерения;
- 2) коэффициент ошибок по секундам с серьезными ошибками SESR - отношение секунд с большим количеством ошибок к общему числу секунд в интервале измерения;
- 3) коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками BBER - отношение количества блоков с ошибками к общему количеству блоков в измерительном интервале времени.

Все сигналы первичной информации об ошибках от различных датчиков либо передаются от каждого объекта ТЭ в блок обработки, либо обрабатываются на месте. Показатели рабочих параметров определяются на основе этой информации. Каждый показатель, называемый показателем ошибок (ES, SES, BBE), обрабатывается отдельно, чтобы затем вычислить коэффициенты ошибок, которые характеризуют качество работы объекта ТЭ.

Показатели ошибок основных цифровых каналов и высокоскоростных трактов являются статистическими параметрами и нормы на них установлены с соответствующей вероятностью их выполнения. Для показателей ошибок разработаны долговременные и оперативные эксплуатационные нормы [13].

Долговременные нормы определены на основе Рекомендаций ITU-T G.821 для ОЦК и G.826 - для высокоскоростных цифровых трактов. Проверка долговременных норм требует в эксплуатационных условиях длительных периодов измерения - не менее одного месяца.

Оперативные нормы относятся к экспресс-нормам; они определены на основе Рекомендаций ITU-T M.2101, M.2110, M.2120 [37], для систем передачи и сетей SDH и требуют для своей оценки относительно интервалов измерения: 15 мин, один час, одни сутки, семь суток.

Для анализа результатов контроля определяются пороговые значения $S1$ и $S2$ коэффициентов ошибок ESR и SESR за некоторый интервал наблюдения (измерения). Если, например, за этот интервал в процессе эксплуатации по результатам контроля получены значения коэффициентов ошибок ESR и SESR, равное S , то это означает:

$S \geq S2$ - неприемлемое качество;

$S1 < S < S2$ - ухудшенное (плохое) качество;

$S \leq S1$ - приемлемое (хорошее) качество.

Современные требования к средствам и системам передачи SDH предопределили появление дополнительных возможностей контроля качества функционирования аппаратуры СЛТ - синхронных линейных мультиплексоров, линейных регенераторов, волоконно-оптических усилителей, которые должны обеспечивать:

1) формирование и передачу аварийных сообщений как в сторону СЛТ (в сторону линии), так и в сторону пункта доступа (в сторону станции) при возникновении аварий (отказов) в аппаратуре данного пункта;

2) с помощью устройств встроенного контроля без перерыва связи осуществление оценки уровней мощности оптического излучения на выходе тракта передачи и на входе тракта приема как на ближнем, так и на дальнем конце СЛТ; это обеспечивает непрерывный контроль за величиной системного запаса (энергетического потенциала) на прилегающем регенерационном (или усилительном) участке;

3) автоматическое отключение лазера ОПД при пропадании входного сигнала на оптическом интерфейсе приемника и ограничение уровня мощности излучения ОПД до предельно допустимого уровня для лазера используемого класса при разъединении или обрыве оптического волокна в тракте передачи СЛТ;

4) контроль показателей ошибок ES и SES без перерыва связи как на ближнем (Nearer) (NES, NSES), так и на дальнем (Farther) концах (FES, FSES) СЛТ.

3.1.3. Контроль ошибок, неисправностей и параметров

Для поддержания системы передачи в работоспособном состоянии в ней имеется возможность проведения постоянного и всеобъемлющего контроля ошибок, неисправностей и параметров на различных уровнях разными методами и способами. Ниже кратко рассмотрены некоторые из них.

Контроль ошибок возможен на трех транспортных уровнях: в регенерационной секции, мультиплексной секции и тракте VC-4, в котором обеспечивается также контроль приема ошибок на дальнем конце с использованием состояния байта G1 заголовка VC-4 РОН и байтов контроля.

В качестве способа контроля ошибок применяется код четности X-чередующих битов (VIP-X). X-битовый код вырабатывается передающим оборудованием для определенного блока битов сигнала таким образом, что первый бит кода обеспечивает четность первых битов всей X-битовой последовательности выделенного сигнала, второй бит обеспечивает четность для вторых битов этой же последовательности и т. д. Четность достигается установкой битов VIP-X так, что образуется четное количество единиц в каждом контролируемом участке (сегменте) сигнала. Контролируемый сегмент содержит все биты, которые занимают одинаковую позицию внутри X-битовой последовательности в выделенном блоке сигнала. Выделенный блок включает в себя также и биты VIP-X.

Пример с вычисленным кодом VIP-8 для группы из 48 бит, образующих 6 байт, показан на рис. 3.2. В нижнем ряду показано результирующее значение VIP-8. Первая колонка имеет три единичных бита и поэтому требует добавления еще одной «1» в байт VIP-8 для удовлетворения условия

четности. Последующие колонки обрабатываются таким же способом, образуя результирующий байт VIP-8 со значением 11010011.

Для контроля ошибок регенерационной секции используется байт В1 заголовка RSOH. Код VIP-8 вычисляется для всех битов предыдущего цикла передачи сигнала STM-16 после его скремблирования (шифрования) и вставляется в байт 51 перед скремблированием (см. рис. 3.2.).



Рис. 3.2. Принцип работы кода VIP-8

Для контроля ошибок мультиплексной секции используется байт В2 заголовка MSON. При этом в цикле передачи сигнала STM-1 используется три байта В2, т. е. для контроля ошибок мультиплексной секции в системе передачи SDH первого уровня вычисляется код VIP-24 ($VIP-8 \times 3$), в цикле передачи сигнала STM-4 используется 12 байт - вычисляется код VIP-96 ($VIP-8 \times 12$) и в цикле передачи сигнала STM-16 используется 48 байт - вычисляется код VIP-384 ($VIP-8 \times 48$). Код VIP-384 вычисляется для всех битов предыдущего цикла передачи сигнала STM-16, кроме первых трех рядов заголовка MSON, и вставляется в байты В2 перед скремблированием.

Для контроля ошибок тракта VC-4 используется байт ВЗ заголовка VC-4 РОН. Процесс контроля аналогичен контролю ошибок регенерационной секции.

Функциональные возможности контроля неисправностей включают три составляющие:

- 1) наблюдение за аварийными сигналами, при котором неисправности обнаруживаются и выдаются оператору в виде сообщений;
- 2) локализация неисправностей, при которой выделяется определенная часть сети или системы передачи SDH;
- 3) тестирование, при котором анализируются параметры оборудования и цепей из состава системы передачи.

3.2. Исследование технологии пакетной коммутации на уровне транспортных сетей

В сетях с коммутацией пакетов пакет данных с адресом назначения пересылается от узла к узлу. Каждый узел сохраняет, а затем передает пакет. Поэтому узел коммутации в сети с коммутацией пакетов должен уметь читать адреса заголовков, сохранять пакеты и направить их по правильному маршруту. Коммутационные узлы в сетях с коммутацией пакетов обычно называются коммутаторами пакетов или маршрутизаторами. Для сети с коммутации пакетов не существует оверлейной управляющей сети, вся информация о маршруте содержится в самом пакете, и коммутатор пакетов принимает независимые решения, как направлять индивидуальные пакеты.

Коммутатор пакетов принимает решения о маршрутизации для каждого пакета в отдельности, вот почему такой коммутатор должен работать очень быстро. Он также получает всю информацию о маршрутизации трафика из самих передаваемых данных. Коммутатор пакетов нуждается в системе коммутации, которая могла бы перестраиваться для каждого пакета.

3.2.1. Буферы и очереди

Сеть с коммутацией пакетов, так же как и сеть с коммутацией каналов, состоит из коммутаторов, связанных физическими линиями связи. Однако коммутаторы функционируют в этих сетях по-разному. Главное отличие состоит в том, что пакетные коммутаторы имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов. Коммутатор проверяет контрольную сумму, и только если она говорит о том, что данные пакета не искажены, начинает обрабатывать пакет и по адресу назначения определяет следующий коммутатор. Поэтому каждый пакет последовательно бит за битом помещается во входной буфер.

Буферизация необходима пакетному коммутатору также для согласования скорости поступления пакетов со скоростью их коммутации.

Наконец, буферы нужны для согласования скоростей передачи данных в каналах, подключенных к пакетному коммутатору. Действительно, если скорость поступления пакетов из одного канала в течение некоторого периода превышает пропускную способность того канала, в который эти пакеты должны быть направлены, то во избежание потерь пакетов на целевом интерфейсе необходимо организовать выходную очередь (рис. 3.3).

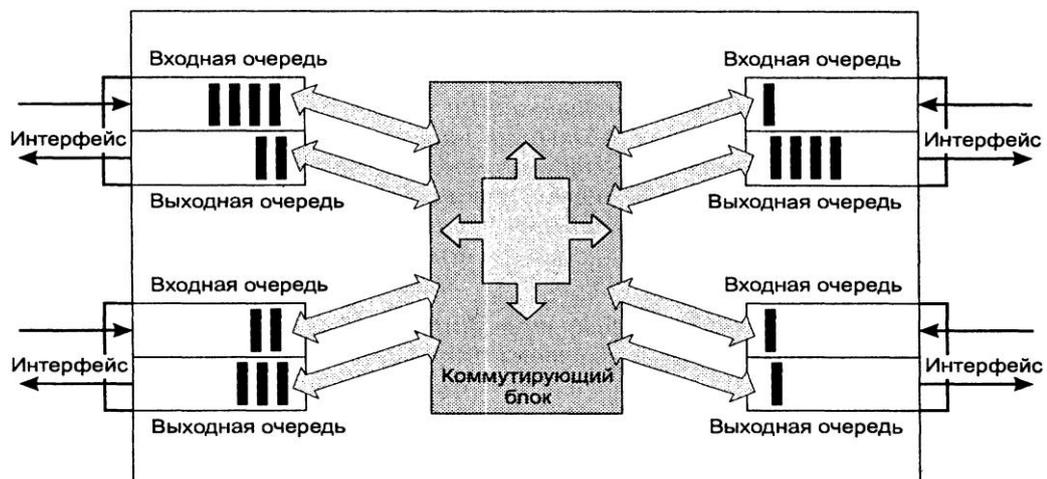


Рис. 3.3. Очереди в пакетном коммутаторе

В сети с коммутацией пакетов пульсации трафика отдельных абонентов в соответствии с законом больших чисел распределяются во времени так, что их пики чаще всего не совпадают. Буферизация сглаживает пульсации, поэтому коэффициент пульсации на магистральных каналах гораздо ниже, чем на каналах абонентского доступа [16].

Поскольку объем буферов в коммутаторах ограничен, иногда происходит потеря пакетов из-за переполнения буферов при временной перегрузке части сети, когда совпадают периоды пульсации нескольких информационных потоков. Так как потеря пакетов является неотъемлемым свойством сети с коммутацией пакетов, то для нормальной работы таких сетей разработан ряд механизмов, которые компенсируют этот эффект.

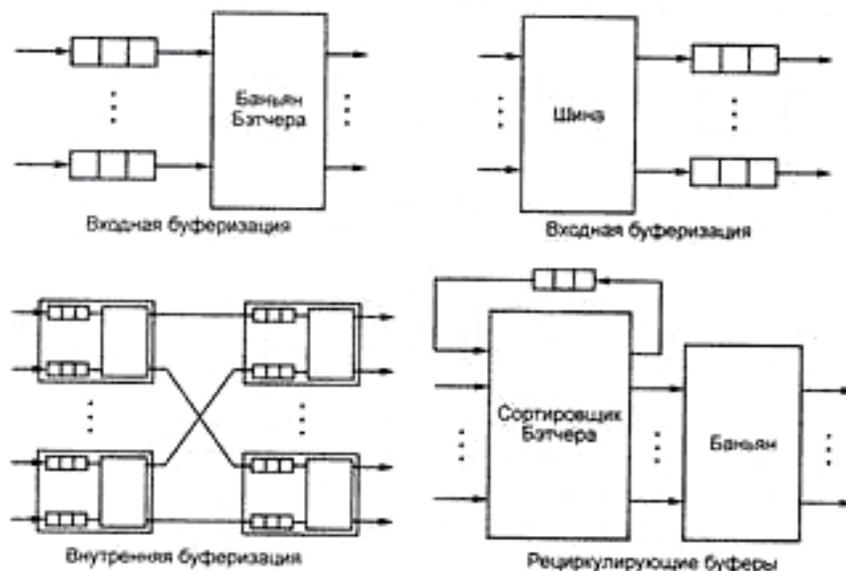


Рис. 3.4. Виды буферов в пакетном коммутаторе [17]

3.2.2. Задержки в транспортной сети с коммутацией пакетов

Как уже говорилось в главе 2, трафик носит пульсирующий характер. Функцию сглаживания этих пульсаций на себя берет пакетный коммутатор.

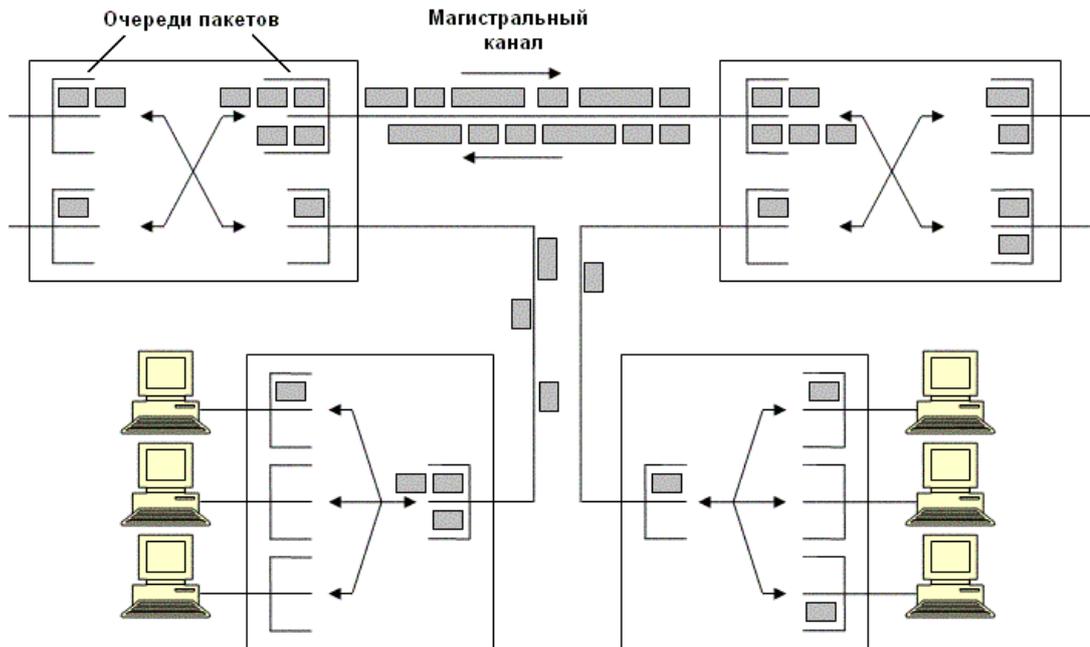


Рис. 3.5. - Сглаживание пульсаций трафика в сети с коммутацией пакетов

На рисунке 3.5. показано, что трафик, поступающий от конечных узлов на коммутаторы, распределен во времени очень неравномерно. Однако коммутаторы более высокого уровня иерархии, которые обслуживают соединения между коммутаторами нижнего уровня, загружены более равномерно, и поток пакетов в магистральных каналах, соединяющих коммутаторы верхнего уровня, имеет почти максимальный коэффициент использования. Буферизация сглаживает пульсации, поэтому коэффициент пульсации на магистральных каналах гораздо ниже, чем на каналах абонентского доступа — он может быть равным 1:10 или даже 1:2.

Сеть с коммутацией пакетов замедляет процесс взаимодействия конкретной пары абонентов, но повышает пропускную способность сети в целом.

Задержки в источнике передачи:

- время на передачу заголовков;
- задержки, вызванные интервалами между передачей каждого следующего пакета.

Задержки в каждом коммутаторе:

- время буферизации пакета;
- время коммутации, которое складывается из:
 - а) времени ожидания пакета в очереди (переменная величина);
 - б) времени перемещения пакета в выходной порт.

Сети с коммутацией пакетов, в которых реализованы методы обеспечения качества обслуживания, позволяют одновременно передавать различные виды трафика, в том числе такие важные как телефонный и компьютерный.

Основным инструментом статистики является гистограмма распределения оцениваемой величины. В данном случае оцениваемой величиной является задержка доставки пакета. Гистограмма задержек дает хорошее представление о производительности сети.

При увеличении количества интервалов и времени наблюдения мы в пределе получаем непрерывную функцию, которая называется плотностью распределения задержки доставки пакета (показана пунктиром).

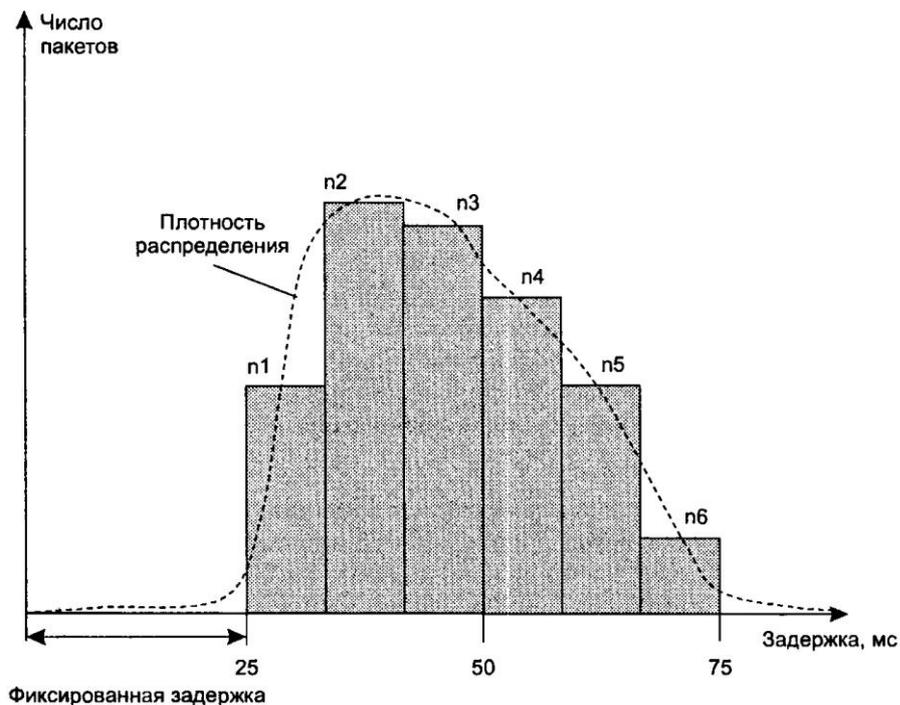


Рис. 3.6. Гистограмма задержек пакетного коммутатора [16]

Определим еще несколько часто используемых статистических характеристик задержки пакета.

Среднее значение задержки (D) вычисляется как сумма всех задержек d_j , деленная на количество всех измерений N :

$$D = \sum \frac{d_i}{N} \quad (5)$$

Джиттер (J) представляет собой среднее отклонение каждой отдельной задержки от среднего значения задержки:

$$J = \sqrt{\frac{\sum (d_i - D)^2}{N - 1}} \quad (6)$$

Как среднее значение задержки, так и джиттер измеряются в секундах. Очевидно, что если все задержки d_i равны между собой, то вариация отсутствует, что подтверждают приведенные формулы — в этом случае $D = d_i$ и $J = 0$.

Коэффициент вариации — это безразмерная величина, которая равна отношению джиттера к среднему значению задержки:

$$CV = J/D \quad (7)$$

Коэффициент вариации характеризует трафик без привязки к абсолютным значениям временной оси. Идеальный равномерный поток данных всегда будет обладать нулевым значением коэффициента вариации. Коэффициент вариации, равный 1, означает достаточно пульсирующий трафик, так как средние отклонения интервалов от некоторого среднего периода следования пакетов равны этому периоду.

Максимальная задержка — это величина, которую задержки пакетов не должны превосходить с заданной вероятностью. Мы недавно вычисляли такую величину по гистограмме задержек. Чтобы получить оценку, достаточно определенно говорящую о качестве работы сети, обычно задают высокую вероятность, например 0,95 или 0,99. Действительно, если

пользователю скажут, что сеть будет обеспечивать уровень задержек в 100 мс с вероятностью 0,5, то это его не очень обрадует, так как он ничего не будет знать об уровне задержек половины своих пакетов.

Максимальная вариация задержки — максимальное значение, на которое отклонение задержки от среднего значения задержки не превосходит с некоторой вероятностью.

Время реакции сети является интегральной характеристикой производительности сети с точки зрения пользователя. Именно эту характеристику имеет в виду пользователь, когда говорит: «Сегодня сеть работает медленно». Время реакции определяется как интервал времени между возникновением запроса пользователя к какой-либо сетевой службе и получением ответа на этот запрос.

Время оборота - можно оценивать по его среднему и максимальному (с заданной вероятностью) значениям.

3.2.3. Исследование коммутатора пакетов на примере коммутатора АТМ

Поле коммутации ячеек отвечает за передачу ячеек между другими функциональными блоками и выполняет следующие функции:

- концентрация и мультиплексирование трафика,
- маршрутизация и буферизация ячеек;
- многоадресная и ширококвещательная передача;
- распределение ячеек, основанное на приоритетах по задержкам;
- мониторинг случая перегрузки и активация индикатора перегрузки

в прямом направлении [17].

Основной функцией является маршрутизация и буферизация. Входной модуль дополняет тэгом маршрутизации каждую из ячеек, а коммутационное поле просто направляет их со входных портов на соответствующие выходные. Поступление ячеек может быть распределено во времени

посредством использования сдвиговых регистров, каждый емкостью в одну ячейку. Поскольку не исключена одновременная адресация ячеек на один и тот же выход, должна быть предусмотрена возможность их буферизации.

Методы коммутации разделяются на следующие категории:

- с разделяемой памятью;
- общей средой;
- полносвязной топологией;
- пространственным разделением.

3.3. Методы оценки качества передачи информации оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе пакетной коммутации

3.3.1. Классификация методов оценки качества каналов с коммутацией пакетов

Основные методы оценки качества каналов передачи данных с пакетной коммутацией приведены на рисунке 3.3.

Одним из основных методов является оценка состояний качества каналов, которые классифицируются как работоспособное и неработоспособное состояние. К методам распознавания нарушений работоспособности относятся:

- самовосстанавливающий отказ канала
- устойчивый отказ канала
- прогнозирование отказа

Качество передачи информации по каналам оценивается:

- методом оценки через параметры
- методом оценки через параметры сигналов
- методом оценки через вторичные статистические характеристики сигналов (искажений элементов, импульсов дроблений, ошибок).



Рис. 3.3. Классификация методов оценки качества каналов [20]

Сети с коммутацией пакетов были первоначально разработаны для передачи асинхронного трафика, так что с задержками можно было мириться. Однако сегодня, когда сети передачи данных начали переносить различные типы трафика, в том числе и чувствительного к задержкам, вопросы обеспечения показателей QoS вышли на первое место [16].

Критериев качества передачи информации в оптических сетях с коммутацией пакетов много, основные из них:

- производительность сети, характеризующаяся задержками пакетов и скоростью передачи данных;
- надежность, характеризующаяся потерями пакетов, доступностью и отказоустойчивость.

Наиболее часто применяемые методы обеспечения высокой надежности транспортных услуг:

- альтернативные маршруты;
- повторная передача и скользящее окно.

Механизмы обеспечения качества обслуживания:

- Работа в недогруженном режиме

- Алгоритмы управления очередями
- Обратная связь
- Резервирование ресурсов
- Инжиниринг трафика

Алгоритмы управления очередями бывают следующих видов:

- Алгоритм FIFO (First-in-First-out) – обслуживание заявок в порядке поступления;
- Приоритетное обслуживание;
- Взвешенные очереди;
- Комбинированные алгоритмы обслуживания очередей.

3.3.2. Методы оценки качества пакетных коммутаторов в оптической транспортной сети

Модель M/M/1 для модулирования сетей с пакетной коммутацией.

Рассмотрим более подробно алгоритмы управления очередями на примере модели M/M/1 дисциплины СМО.

Существует ветвь прикладной математики, предметом которой являются процессы образования очередей. Эта дисциплина так и называется — теория очередей. Мы не будем углубляться в математические основы этой теории, приведем только некоторые ее выводы, существенные для рассматриваемой нами проблемы QoS.

Основными элементами модели являются:

- входной поток абстрактных заявок на обслуживание;
- буфер;
- обслуживающее устройство;
- выходной поток обслуженных заявок.

Заявки поступают на вход буфера в случайные моменты времени. Если в момент поступления заявки буфер пуст и обслуживающее устройство

свободно, то заявка сразу же передается в это устройство для обслуживания. Обслуживание также длится случайное время.

Если в момент поступления заявки буфер пуст, но обслуживающее устройство занято обслуживанием ранее поступившей заявки, то заявка ожидает его завершения в буфере. Как только обслуживающее устройство завершает обслуживание очередной заявки, она передается на выход, а прибор выбирает из буфера следующую заявку (если буфер не пуст). Выходящие из обслуживающего устройства заявки образуют выходной поток. Буфер считается бесконечным, то есть заявки никогда не теряются из-за того, что исчерпана емкость буфера.

Если прибывшая заявка застаёт буфер не пустым, то она становится в очередь и ожидает обслуживания. Заявки выбираются из очереди в порядке поступления, то есть соблюдается дисциплина обслуживания первым пришел — первым обслужен (First-In, First-Out, FIFO).

Теория очередей позволяет оценить для этой модели среднюю длину очереди и среднее время ожидания заявки в очереди в зависимости от характеристик входного потока и времени обслуживания.

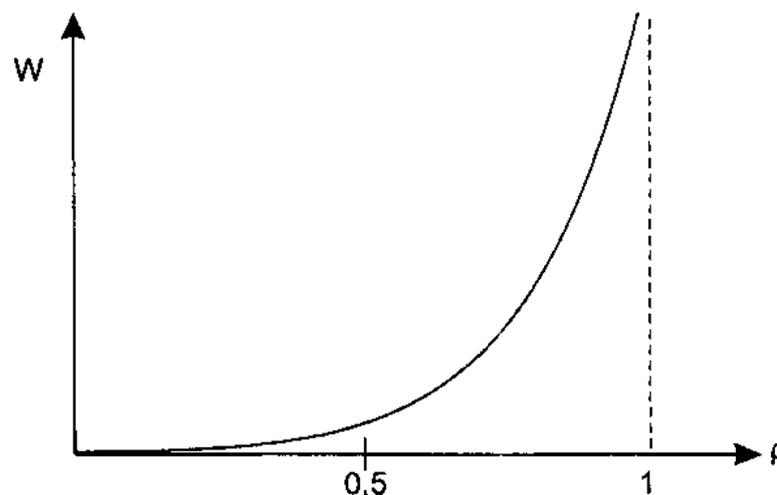


Рис. 3.7. Зависимость среднего времени ожидания заявки от коэффициента использования ресурса [16]

Параметр ρ модели соответствует коэффициенту использования сетевого ресурса, который участвует в передаче трафика, то есть интерфейса коммутатора, процессора коммутатора, канала или разделяемой среды.

С помощью модели M/M/1 можно моделировать сеть с коммутацией пакетов (рис. 3.8).

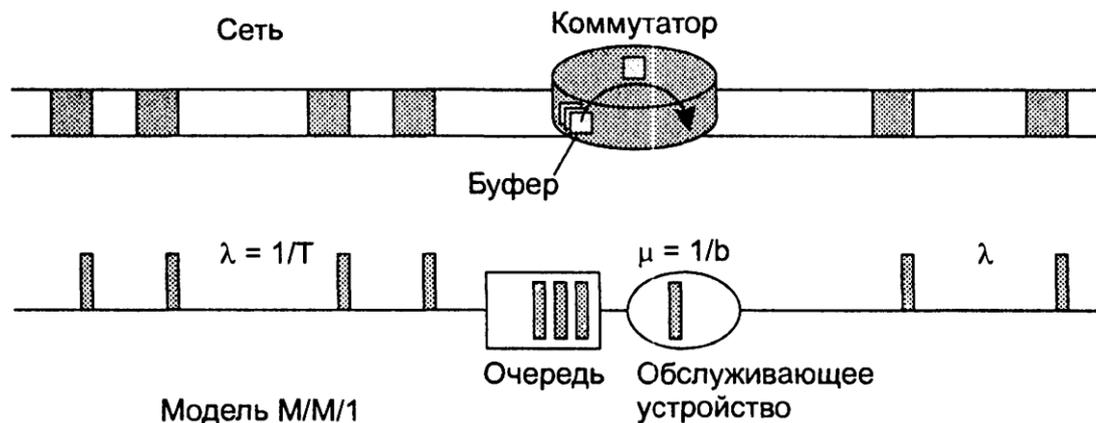


Рис. 3.8. Соответствие модели M/M/1 элементам сети

Пусть входной поток заявок играет роль потока пакетов, поступающих на вход интерфейса коммутатора, буфер модели соответствует буферу входного интерфейса коммутатора, а абстрактное обслуживающее устройство моделирует процессор, обрабатывающий пакеты и направляющий их на выходной интерфейс. Следовательно, среднее время обслуживания заявки соответствует среднему времени продвижения пакета процессором коммутатора из входного буфера в выходной канал.

Очередь создается на тех промежутках, на которых интенсивность поступления пакетов намного превосходит интенсивность обслуживания.

Существует еще один важный параметр, оказывающий непосредственное влияние на образование очередей в сетях с коммутацией пакетов. Этим параметром является вариация интервалов входного потока пакетов, то есть пульсация входного трафика. Мы анализировали поведение модели теории очередей в предположении, что входной поток описывается пуассоновским распределением, которое имеет довольно большое

стандартное отклонение вариации (напомним, что средняя вариация его равна T при среднем значении интервала T , а коэффициент вариации равен 1).

На рис. 3.9. показано семейство зависимостей w от ρ , полученных для разных значений коэффициента вариации CV входного потока. Имитационная модель учитывает фиксированную задержку в сети. Одна из кривых, ρ которой $CV = 1$, соответствует пуассоновскому входному потоку. Из рисунка видно, что чем меньше пульсирует входной поток (CV приближается к нулю), тем меньше проявляется эффект лавинообразного образования очереди при приближении коэффициента загрузки ресурса к 1. И наоборот, чем больше CV , тем раньше (при меньших значениях ρ) начинает этот эффект проявляться. Из поведения графиков на рисунке можно сделать два вывода.

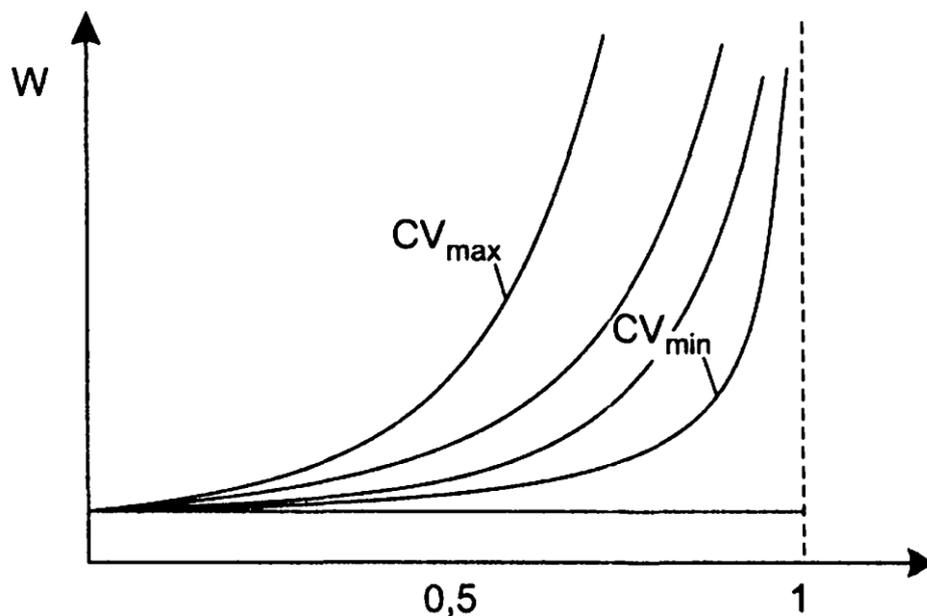


Рис. 3.9. Влияние степени пульсации потока на задержки, где W - среднее время ожидания заявки в очереди [16]

Для оценки значений задержек в очередях на коммутаторах сети недостаточно информации о коэффициенте загрузки ρ , необходимо также знать параметры пульсации трафика.

Для снижения уровня задержек нужно снижать значение ρ и сглаживать трафик

Алгоритм FIFO. Интеграция на основе обслуживания в порядке поступления.

При этой стратегии обслуживания любому пользователю при его появлении независимо от класса нагрузки назначается виртуальный канал (временной слот в системах с временным разделением). При отсутствии свободного канала запросы на соединение блокируются, а пакеты помещаются в буфер. Найдем точное решение задачи определения характеристик качества обслуживания интегральной сети с такой стратегией интеграции. Приемлемая сложность задачи получается для простейшего случая разделения ресурса в виде одного ($N=1$) канала. Однако, несмотря на простоту случая, он позволяет проследить все важнейшие особенности рассматриваемого способа объединения.

Построим диаграмму переходов состояний системы массового обслуживания, соответствующей рассматриваемой задаче. СМО имеет двумерную структуру пространства состояний (рис. 3.10). Обозначим стационарные вероятности нахождения системы в каждом из состояний p_{ij} . Верхний ярус состояний $i=1$ соответствует случаю занятости канала заявкой первого класса, а нижний ярус $i=0$ описывает состояния при отсутствии заявки первого класса. Значение j определяет число заявок второго класса, находящихся в системе. Переходы между состояниями в точности соответствуют возможным процессам в системе. Так, при занятости канала заявкой первого класса, его освобождение происходит с интенсивностью μ_1 в состояние, определяемое числом заявок второго класса, находящихся на обслуживании. Поступление новой заявки второго класса производит переход в состояние $j+1$ с интенсивностью λ_2 а ее обслуживание выполняет переход в состояние $j-1$ с интенсивностью μ_2 но только в случае отсутствия заявки первого класса ($i=0$).

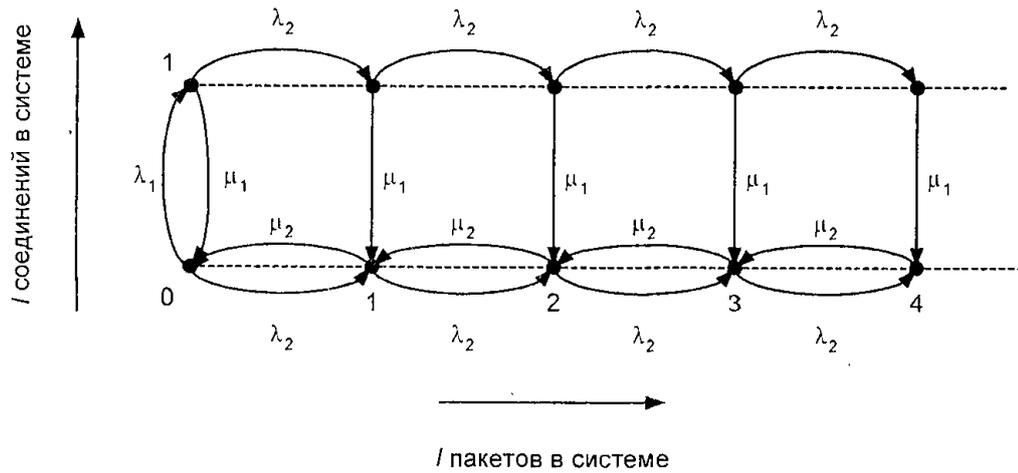


Рис. 3.10. Диаграмма интенсивностей переходов при стратегии обслуживания в порядке поступления [24]

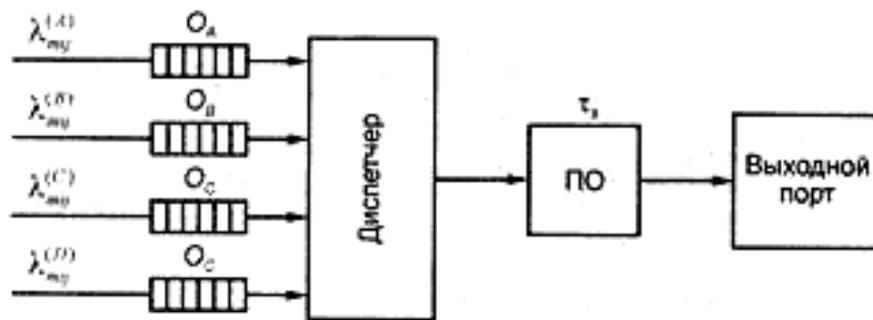


Рис. 3.11. Обработка ячеек в пакетном коммутаторе

Выпишем уравнения баланса для всех состояний.

$$(\lambda_1 + \lambda_2)p_{00} = \mu_1 p_{10} + \mu_2 p_{01} \quad (8)$$

$$(\lambda_2 + \mu_2)p_{0j} = \lambda_2 p_{0,j-1} + \mu_1 p_{1j} + \mu_2 p_{0,j+1}, j \geq 1 \quad (9)$$

$$(\mu_1 + \lambda_2)p_{10} = \lambda_1 p_{00} \quad (10)$$

$$(\mu_1 + \lambda_2)p_{1j} = \lambda_2 p_{1,j-1}, j \geq 1 \quad (11)$$

Обозначая $\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$, $\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}$ и используя уравнения (8) и (9), можно получить выражения для вероятностей состояний:

$$p_{01} = \rho_2 [1 + \rho_1 / (1 + \rho_2)] p_{00} \quad (12)$$

$$p_{1j} = \left(\frac{\alpha \rho_2}{\alpha \rho_2 + 1} \right)^j p_{10} = \left(\frac{\alpha \rho_2}{\beta \rho_2 + 1} \right)^j \left(\frac{\rho_1}{1 + \alpha \rho_2} \right) p_{00}. \quad (13)$$

Мы использовали здесь безразмерную величину, определяющую соотношение между временем обслуживания заявок первого и второго класса $\alpha = \mu_2 / \mu_1$.

Для определения вероятностей при $i = 0$ воспользуемся методом производящих функций. Это просто z -преобразование последовательности из вероятностей. Определим производящую функцию:

$$G_0(z) = \sum_{j=0}^{\infty} p_{0j} z^j. \quad (14)$$

Умножим правую и левую часть уравнения (9) на z и, суммируя по всему, начиная с единицы, можно получить следующее алгебраическое уравнение для функции комплексной переменной — производящей функции:

$$G_0(z)(1 - \rho_2 z)(z - 1) = p_{00} \left[zA(z) + (z - 1) - \frac{z\rho_1\rho_2}{1 + \alpha\rho_2} \right], \quad (15)$$

$$A(z) = \frac{\rho_1\rho_2 z}{1 + \alpha\rho_2} [1 - \alpha\rho_2(z - 1)]. \quad (16)$$

При выводе этих уравнений использовались следующие вспомогательные соотношения:

$$\sum_{j=1}^{\infty} p_{0j} z^j = G_0(z) - p_{00}, \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^{\infty} p_{0,j+1} z^j = z^{-1} (G_0(z) - p_{00} - zp_{01}), \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{\infty} p_{1j} z^j = \frac{\alpha\rho_1\rho_2 z}{(1 + \alpha\rho_2)[1 - \alpha\rho_2(z - 1)]} p_{00}. \quad (19)$$

В уравнении для $G_0(z)$ в правой и левой частях может быть выделен сомножитель z . После сокращения на него можно записать выражение для производящей функции:

$$G_0(z) = p_{00} \left[1 + \frac{z\rho_1\rho_2}{1 - \alpha\rho_2(z-1)} \right] (1 - \rho_2 z)^{-1}. \quad (20)$$

Единственной неизвестной остается вероятность в нулевой точке. Воспользуемся условием нормировки и свойством производящей функции:

$$\sum_{i,j} p_{ij} = \sum_{j=0}^{\infty} p_{0j} + \sum_{j=1}^{\infty} p_{1j} = 1 \quad (21)$$

$$\sum_{j=0}^{\infty} p_{0j} = G_0(1) = p_{00} (1 + \rho_1\rho_2)(1 - \rho_2)^{-1} \quad (22)$$

$$\sum_{j=0}^{\infty} p_{1j} = \rho_1 p_{00} \quad (23)$$

$$\Rightarrow p_{00} = \frac{1 - \rho_2}{1 + \rho_1}. \quad (24)$$

Теперь можно найти характеристики качества обслуживания. Вероятность блокировки заявок первого класса равна вероятности $1 - p_{00}$.

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 0, \\ P_B &= \frac{\rho_1}{1 + \rho_1}. \end{aligned} \quad (25)$$

В качестве подтверждения правдоподобности полученного соотношения найдем значение вероятности блокировки при отсутствии заявок второго класса, т. е. при

$$P_B = 1 - p_{00} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{1 + \rho_1}. \quad (26)$$

Это в точности значение вероятности блокировки системы с одним сервером, получаемое при расчете по формуле Эрланга.

Теперь найдем среднее значение задержки нагрузки второго класса. Сначала найдем среднее число пакетов в системе, а затем воспользуемся формулой Литтла.

$$\bar{j} = \sum_{i,j} jp_{ij} = \sum_{j=0}^{\infty} jp_{0,j} + \sum_{j=1}^{\infty} jp_{1,j} = \left. \frac{dG_0(z)}{dz} \right|_{z=1} + \sum_{j=1}^{\infty} jp_{1,j}, \quad (27)$$

$$\left. \frac{dG_0(z)}{dz} \right|_{z=1} = \frac{\rho_2}{1-\rho_2} + \frac{\alpha\rho_1\rho_2^2}{1+\rho_1}, \quad (28)$$

$$\sum_{j=1}^{\infty} jp_{1,j} = \alpha\rho_1 \frac{(1-\rho_2)}{1+\rho_1} \quad (29)$$

$$\Rightarrow \bar{j} = \frac{\rho_2}{1-\rho_2} + \frac{\alpha\rho_1\rho_2}{1+\rho_1}. \quad (30)$$

Заметим, что первое слагаемое описывает задержку в системе M/M/1, а второе слагаемое определяет увеличение количества пакетов в очереди за счет состязаний за доступ к каналу с заявками первого класса. Условие равновесия для нагрузки второго класса не зависит от нагрузки первого класса и состоит в выполнении неравенства $\rho_2 < 1$.

Воспользовавшись формулой Литтла, найдем нормированную задержку заявок второго класса:

$$\mu_2 T = \frac{\bar{j}}{\rho_2} = \frac{1}{1-\rho_2} + \frac{\alpha\rho_1}{1+\rho_1}. \quad (31)$$

Обычно при интеграции заявки первого класса, например телефонные разговоры, имеют существенно большую длительность, чем заявки второго класса, а именно пакеты, причем $\alpha \gg 1$. Как видно из полученной формулы, задержка пакетов сильно возрастает по сравнению с чистой пакетной сетью. Интересно, как изменится ситуация при достаточно большом числе каналов. Случай с $N > 1$ был проанализирован и позволил предложить приближенную формулу расчета вероятности блокировки для нагрузки первого класса в виде:

$$P_B = \frac{AB(N-1, A)}{N - A_2 + \rho B(N-1, A)}, \quad (32)$$

Где $A = A_1 + A_2$, причем формула

$$B(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}} \quad (33)$$

является известной формулой Эрланга. Последнее соотношение точно при $\alpha = 1$ и может быть применено для других значений α в силу слабой зависимости вероятности блокировки от ее величины [24].

Рассмотрим пример. Пусть $1/\mu_1 = 100$ с, $1/\mu_2 = 10$ мс. Тогда $\alpha = 10000$. Пусть нагрузки таковы, что $p_1 = 0,1$, $p_2 = 0,4$. Тогда $p_b = 0,45$, т. е. весьма значительна. В то же время задержка для пакетов $\mu_2 T = 1,7 + 990 = 991,7$, что существенно превышает задержку без учета влияния "разговорной" нагрузки. Фактическое время задержки составит 9,9 с вместо 1,7 мс для соответствующей системы М/М/1, когда пакеты поступали бы в отдельный канал.

Как показывает анализ, стратегия интеграции нагрузки в порядке поступления запросов не обеспечивает приемлемого регулирования характеристик качества обслуживания.

3.3.3. Функциональная модель пакетного коммутатора

Функциональную модель коммутатора можно создать на основе положений теории массового обслуживания. Коммутатор с N портами представим как многоканальную систему массового обслуживания.

Для технологий Fast/Gigabit Ethernet наиболее распространена коммутация с входной буферизацией (store and forward). При этом буфер каждого входного порта представим как одноканальную систему массового обслуживания с дисциплиной FIFO (first input/first output). Функциональная модель входного порта представлена на следующем рисунке [29]



рис.3.12. Функциональная модель входного порта

Интенсивность потока заявок описывается через функцию $\rho(t)$. $X(t)$ – функция состояния канала (идет или нет передача очередного кадра). Кадр генерируется источником трафика (ИТ), а получается приемником трафика (ПТ). При этом коммутационная матрица и процессор представляют собой обслуживающий прибор (ОП).

Размер передаваемого кадра данных L_f изменяется в пределах $[L_{fmin}, L_{fmax}]$, бит. В качестве входной величины также возьмем среднюю интенсивность потоков заявок λ .

Процесс коммутации пакетов дискретизируем по времени с шагом дискретизации dt .

Процесс коммутации пакета можно разделить на следующие этапы этапы: [16]

- Прием кадра в свой буфер
- Проверка пакета на ошибки (с использованием ЦИК)
- Просмотр адресной таблицы, с целью определения выходного порта
- Проверка, свободен ли выходной порт (не идет ли на него передача с другого входного порта).

Если порт свободен, то $\frac{L_f}{V_{ком}}$ осуществляется собственно передача пакета в течении времени $t_{ком} = \frac{L_f}{V_{ком}}$, где L_f - размер пакета в битах, $V_{ком}$ - битовая скорость коммутации

Таким образом, задержка пакета в коммутаторе будет составлять:

$$t_{сум} = t_{пр} + t_{просм} + t_{пров} + t_{буф} + t_{ком} \quad (34)$$

где:

- $t_{пр}$ – время проверки пакета на ошибки ЦИК

- t просм – время для просмотра адресной таблицы, с целью определения выходного порта
- t буф – время нахождения во входном буфере с длиной SDH FIFO.
- t ком – время коммутации в коммутационной матрице

Все составляющие задержки, кроме t буф можно принять неизменными при данном размере пакета, т.е не зависящими от интенсивности входящего трафика.

Из входного буфера пакет направляется в порт назначения только тогда, когда он становится свободным. При этом страдает от так называемой блокировки первым в очереди (head-of-queue blocking). Она возникает в том случае, когда пакеты, стоящие в очереди, должны быть направлены в различные порты. При этом если пакет В стоит позади пакета А, чей порт занят, то он не будет отправлен даже после освобождения своего порта. Для того чтоб определить конкретные значения задержек, была составлена программа.

Значение параметров каждого пакета в каждый момент времени заносится в матрицу $Z[i,j]$ (матрица задержек), где i – номер выходного порта, откуда должен выйти пакет, j – порядковый номер пакета для данного выходного порта. Элементы матрицы Z организуются в виде записи (списка), состоящего из нескольких полей:

- $Z[i,j].zad$: longint – значение задержки пакета (нс). Если пакет не скомутирован, то это значение будет увеличиваться на каждом шаге на dt .
- $Z[i,j].isx_port$: word – номер исходящего порта для этого пакета,
- $Z[i,j].nom$: - порядковый номер пакета во входном буфере в любой момент времени,
- $Z[i,j].sw$:boolean – произошла ли коммутация пакета.

Состояния входных и выходных портов организуются в виде массивов:

- $Zad_wx[i]$:longint – значение, определяющее на сколько входной порт i занят для передачи на выходной порт j (нс). Т.е. входной порт может

принимать пакеты извне, помещать их в буфер, но отправить на выходной порт пока не может, т.к. с него идет передача предыдущего пакета. Если $Zad_wx[i] \leq 0$, то порт свободен для передачи.

- $Zad_buf[i]$ – задержка при помещении, выгрузки пакета из входного буфера (нс),
- $Port[j]$ – занятость выходного порта j приемом пакета (нс),
- $Isход$ – множество, куда заносятся номера входных портов, из которых были скоммутированы пакеты на данном шаге n основного цикла программы $T=n*dt$.

Основной цикл программы определяет время дискретизации от 0 до T_{max} (нс) с шагом dt (T_{max} - полное время коммутации). С помощью функции генерации случайных чисел определяется вероятность появления пакета в данный момент времени (соответствующая заданной интенсивности входного трафика), входной и выходной порт (входной порт \diamond выходной порт). Причем, если произошла генерация с входного порта i , то на данный входной порт больше не поступают пакеты в течении времени $T_{кад. мин.} + t_{ми}$, где $T_{кад. мин.}$ – минимальный период следования кадра от сетевого адаптера при данном размере пакета, $t_{ми}$ – межкадровый интервал. Мы можем сами задать входные и выходные порты с помощью входной матрицы.

Если выходной порт свободен и входной буфер пуст, то задержка будет складываться только из $t_{пр} + t_{просм} + t_{пров} + t_{ком}$ и такой пакет помечается как скоммутированный, то есть его задержка дальше не увеличивается. Иначе, пакет помещается во входной буфер с порядковым номером $n_{пор}$, и помечается как некоммутированный, для него заносится первоначальное значение задержки $t_{пр} + t_{просм} + t_{пров} + t_{ком}$. В следующих значениях цикла просматриваются все некоммутированные пакеты, значение их задержек увеличивается на dt . Если их порядковый номер во входном буфере равен 1 и выходной порт свободен, то такие пакеты коммутируются, затем помечаются

как скомутированные, и значения их задержек больше не увеличивается. При этом значения $n_{пор}$ всех пакетов, находящихся в данном входном порту уменьшается на единицу.

Объем буфера каждого входного порта в каждый момент времени это максимальное значение $n_{пор}$ для данного входного порта [29].

С учетом вышеизложенного, представим блок-схему программы (рис.3.13).

Генерация пакетов осуществляется в течении времени $T_{генер.}$ с входного порта $i1$ на выходной порт $j1$, с вероятностью появления пакета в момент времени $t=n \cdot dt$ равной $p1$ (n – номер цикла). Для генерации пакетов используется функция генерации псевдослучайных чисел, которая задает $i1$, $j1$, причем $i1 \neq j1$.

Максимальное время дискретизации $T_{max} = T_{генер.} + T_{ост. обр.}$, где $T_{ост. обр.}$ – время на остаточную обработку пакетов, которые не успели скомутироваться в течении времени $T_{генер.}$

Шаг дискретизации dt целесообразно брать равным 100 нс.

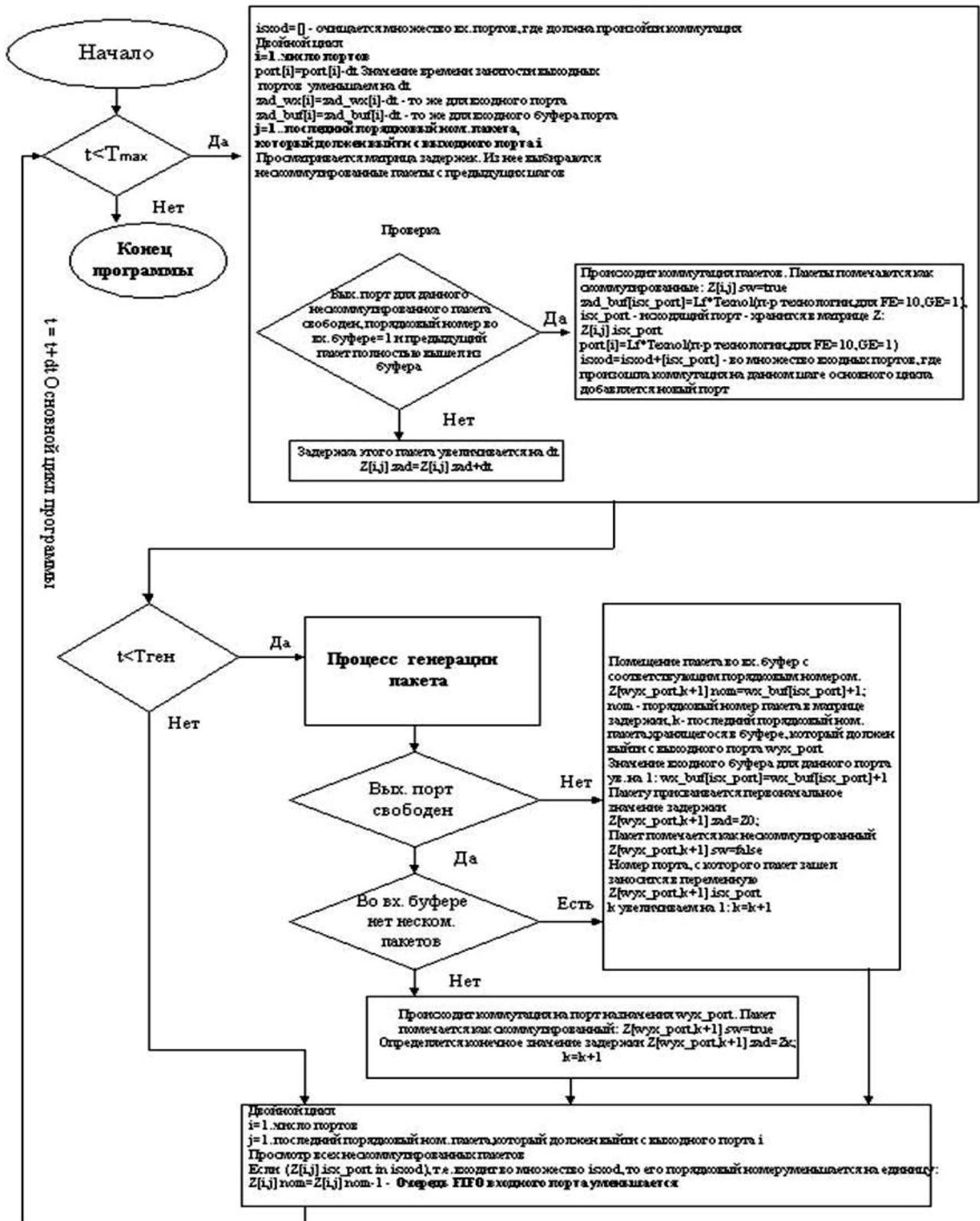


Рис. 3.13. Блок-схема модели коммутатора

ВЫВОДЫ

В процессе исследования качества передачи информации в оптических транспортных сетях телекоммуникаций было установлено:

- Основными качественными показателями оптических транспортных сетей являются: пропускная способность, достоверность, надежность;
- Контроль качества функционирования систем передачи и сетей SDH включает три процесса контроля: аномалий, дефектов, ухудшенного качества функционирования;
- Основой для оценки качества проектирования, построения и эксплуатации цифровых сетей является Рекомендация ITU-T G.826;
- Для показателей ошибок разработаны долговременные и оперативные эксплуатационные нормы;
- В качестве способа контроля ошибок применяется код четности X-чередующих битов (VIP-X);
- Характеристики QoS отражают отрицательные последствия пребывания пакетов в очередях, которые проявляются в снижении скорости передачи, задержках пакетов и их потерях.
- Приоритетные и взвешенные очереди, а также резервирование и обратная связь позволяют гарантировать качество обслуживания для чувствительного к задержкам и эластичного трафика;
- Основными параметрами, влияющими на качество передачи в оптических сетях с пакетной коммутацией являются производительность сети и надежность;
- Создана функциональная модель пакетного коммутатора на основе приложений теории массового обслуживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения поставленных задач и достижения выше обозначенных целей в данной магистерской диссертации было произведено:

- Анализ оптических транспортных сетей телекоммуникаций на основе технологий SDH;
- Сравнительный анализ технологий пакетной передачи данных (IP, ATM);
- Систематичное исследование протокольных решений транспортных сетей и на его основе предложено оптимальное;
- Исследован трафик услуг телекоммуникаций;
- Опираясь на тенденции трафика и требования конвергенции, рассмотрена мультисервисная транспортная платформа;
- Были исследованы полностью оптические транспортные сети с пакетной коммутацией с использованием автоматически коммутируемых транспортных сетей ASON;
- Определены качественные параметры передачи информации в оптических транспортных сетях с пакетной коммутацией;
- Разработаны методы оценки качественных показателей оптических транспортных сетей с пакетной коммутацией.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелёв К. Ф. Основы SDH: Монография. - К.: ИВЦ «Видавництво "Політехніка"», 2003.-584 с.: ил.
2. Нетес В. А. Построение транспортных сетей на основе синхронной цифровой иерархии // Сети и системы связи. - 1997. - № 4. - с. 72-78.
3. Б.И. Крук, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов; по ред. проф. В.П.Шувалова. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. – Изд.3-е, испр. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 647 с.:ил.
4. В.Г. Фокин Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2008, 288 с.: ил.
5. Гордиенко В.Н., Ксенофонтов С.Н., Кунегин С.В., Цыбулин М.К. Современные высокоскоростные цифровые телекоммуникационные системы. Ч. 3. Группообразование в синхронной цифровой иерархии: Учебное пособие / МТУСИ. - М., 1999. - 76 с.
6. Northern Telecom: Fiber World TN-1X. Product Handbook, Issue 3 June, 1995.
7. Зурман А. Р. Практика проектирования сетей с оборудованием синхронной цифровой иерархии // Электросвязь. - 1997. - №1. - с. 11-13.
8. NOKIA Telecommunications: Узел коммутации STM-1/STM-4 системы SYNFO NET // Электросвязь. - 1996. - № 10. - с. 42-44.
9. Ходков В. А., Ходков К. А. SDH и PDH. История одного противостояния // Сети и телекоммуникации. - 1999. - № 1 (7). - с. 50-55.
10. Ершов В.А., Кузнецов Н.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети.–М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.-432с.
11. Н.Л. Бирюков, В.К. Стеглов Транспортные сети и системы электросвязи. Системы мультиплексирования: Учебник для студентов вузов по специальности «Телекоммуникации»./ Под редакцией В.К. Стеглова. – К.; 2003, 352 с., ил.

12. Р.Фриман Волоконно-оптические системы связи, под ред. Н.Н. Слепова, Техносфера, Москва 2003.
13. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH – М.: Эко-Трендз, 1997, 148 с.: ил.
14. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации / под ред. Ю.Н. Чернышова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.: илл.
15. Р.Р. Убайдуллаев Волоконно-оптические сети - М.: Эко-Трендз, 2001, 267 с.: ил.
16. Олифер В. Г., Олифер Н. А., «Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы» 2-е издание, С.-Пб.: Издательский дом "Питер", 2004
17. Т. Б. Денисова Мультисервисные АТМ-сети Москва, 2005
18. Широкополосные сети АТМ с ЦСП в сетях доступа Уразаева Л.В. Весник УБЕИТЗ. – 200 №1 С 27-32.
19. Передача трафика IP по каналам систем передачи SDH. Воловик Д.В., Уразаева Л.В. Весник УБЕИТЗ – 2001 №1 С 29-33.
20. Арипов М.Н., Присяжнюк С.П., Шарифов Р.А. Контроль и управление в сетях передачи данных с коммутацией пакетов. Ташкент: Фан, 1988. 160 с.
21. Гринфилд Дэвид Оптические сети / Дэвид Гринфилд – К.: ООО «ТИД»ДС», 2002 – 256 с.: ил.
22. Кучерявый А.Е., Гильченко Л.З., Иванов А.Ю. Пакетная сеть связи общего пользования. – СПб.: Наука и Техника, 2004. – 272 с.: ил.
23. Телекоммуникационные системы и сети. Том 3. Мультисервисные сети./Величко В.В, Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф./ Учебное пособие УМО.-М.: Горячая линия - Телеком, 2005.-592с.
24. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.: ил.
25. <http://www.cisco.com>
26. <http://www.kunegin.narod.ru>

27. ITU-T Recommendation X.85/Y.1321. IP over LAPS (02/2001).
28. Р.Х. Джураев, А.А. Ким, О.Р. Джураев. Изучение принципов коммутации пакетов методические указания к практическим занятиям /ГУИТ. 50 с. Ташкент 2005.
29. Бараш Л. Архитектура коммутаторов. Основные принципы. – М.: Компьютерное обозрение, 2000 №28.
30. Berger, L., Editor "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling - Resource ReserVation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions" January 2003.
31. Kompella, K., et al., "Routing Extensions in Support of Generalized MPLS", Work in Progress.
32. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2005
33. ITU-T G.8080 Architecture for the automatically switched optical network (ASON), 2003.
34. ITU-T Recommendation G.704. Synchronous Frame Structures Used at Primary and Secondary Hierarchical Levels (1995).
35. ITU-T Recommendation G.826. Errors Performance Parameters and Objectives for International, Constant Bit Rate Digital Paths at or above the Primary Rate (1993).
36. ITU-T Recommendation G.958. Digital Line Systems Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH) for Use on Optical Fibre Cables (1994).
37. ITU-T M.2120. Digital Path, Section and Transmission System Fault Detection and Localization Procedures (1992).

ПРИЛОЖЕНИЕ