

РЕФЕРАТ

С. 87. Рис. 24. Табл. 6. Прилож. 6

АРХИТЕКТУРА IP-СЕТИ, КОМПОНЕНТЫ IP-СЕТИ, МАГИСТРАЛЬНАЯ СЕТЬ СВЯЗИ, ПАРАМЕТРЫ SLA, 10 GIGABIT ETHERNET, CISCO, DWDM, NGSDH, NORTEL

Целью работы является построение IP-сети поверх магистральной транспортной SDH и DWDM сети связи ЗАО «Раском».

В процессе работы проводился анализ магистральной транспортной сети связи ЗАО «Раском», способов построения IP-сетей поверх SDH и DWDM транспортных трактов.

В результате работы был разработан метод реализации поставленной задачи, выбрано, установлено, настроено и протестировано оборудование, позволившее создать IP-сеть поверх имеющейся транспортной инфраструктуры.

Основные эксплуатационные показатели и характеристики были измерены и удовлетворяют требованиям поставленной задачи.

Удалось улучшить ряд показателей, определяющих эффективность магистральной сети по сравнению с сетью до модернизации, а также достичь лучших показателей, чем были заданы в тех. задании.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ IP-СЕТЕЙ.....	13
1.1. Требования к высокоскоростным IP-сетям.....	13
1.2. Анализ магистральной транспортной сети связи зао «Раском»	15
1.3. Основные направления модернизации	19
1.4. Постановка задач дипломного проекта.....	21
2. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ.....	25
2.1. Разработка метода построения IP-сети поверх транспортной SDH и DWDM магистральной сети связи.....	25
2.2. Модернизация транспортной сети	32
2.3. Модернизация IP-сети	45
3. ВЫБОР И НАСТРОЙКА КОМПОНЕНТОВ IP-СЕТИ	52
3.1. Компоненты транспортной сети	52
3.2. Компоненты IP-сети	57
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ SLA.....	60
4.1. Цели и средства проверки	60
4.2. План эксперимента	64

4.3. Результаты измерений	65
4.4. Анализ результатов.....	69
4.5. Расчет коэффициента готовности	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	79
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Схема первого этапа модернизации транспортной сети	82
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Схема второго этапа модернизации транспортной сети	83
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Схема третьего этапа модернизации транспортной сети	84
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Схема IP-сети до модернизации..	85
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Схема IP-сети после модернизации.....	86
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. График пропускной способности Ethernet трафика поверх SDH-NGN с помощью коммутатора L2SS.....	87

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВОЛС — Волоконно-Оптические Линии Связи
СПД — Сеть Передачи Данных
AON — All-Optical Network
CPL — Common Photonic Layer
CWDM — Coarse WDM (грубые WDM)
DWDM — Dense WDM (плотные WDM)
E1 — европейская версия ISDN цифровой линии связи (2 Мбит/с)
EVC — Ethernet Virtual Connection
EVL — Ethernet Virtual Line
FEC — Forward Error Correction (система внесения предсказаний в сигнал)
G.709 — ITU-T Recommendation "Interfaces for the optical transport network"
GBIC — GigaBit Interface Converter
GE — Gigabit Ethernet
GFP — Generic Framing Procedure
GFP-F — Framed GFP
GFP-T — Transparent GFP
ISDN — Integrated Services Digital Network (Цифровая сеть с интеграцией служб)
L2 — Layer 2 (OSI model)
L2SS — Layer2 Service Switch (коммутатор сервисов 2-го уровня)
MOR+ — Multiwavelength Optical Repeaters (оптические усилители для диапазона длин волн)
MPLS — MultiProtocol Label Switching (мультипротокольная коммутация по меткам)
NGN — Next Generation Network (сети следующего поколения)
OME6500 — Optical Multiservice Edge (Nortel)
OPE100 — Optical Packet Edge 100 (Nortel)
POS — Packet over SONET/SDH
QoS — Quality of Service (качество обслуживания)

RPR — Resilient Packet Ring (кольцевая оптическая структура с временем восстановления 50ms)

SDH — Synchronous Digital Hierarchy (Синхронная Цифровая Иерархия)

SFP — Small Form-factor Pluggable (компактный оптический приемопередатчик)

SLA — Service Level Agreement (Соглашение об уровне услуги - перечень параметров качества, методов и средств их контроля, а также штрафные санкции за нарушение этого соглашения)

STM-1 — стандартный уровень информационной структуры SDH (155.52 Мбит/с) [OC-3]

STM-4 — 4·STM-1 (622.08 Mbit/s) [OC-12]

STM-16 — 4·STM-4 (2488.32 Mbit/s) [OC-48]

STM-64 — 4·STM-16 (9953.28 Mbit/s) [OC-192]

TDM — Time-Division Multiplexing (временное уплотнение)

Triple Play — услуги передачи данных, голоса и видео в сетях Интернет-провайдеров

VC-x — Virtual concatenation/container

VLAN — Virtual LAN

VPN — Virtual Private Network (виртуальная частная сеть)

WDM — Wavelength Division Multiplexing (спектральное уплотнение каналов)

XENPAK — стандарт для модулей 10GE

ВВЕДЕНИЕ

Строительство выделенных сетей для каждой услуги (телефонии, ТВ, передачи данных и т. п.) в настоящее время уступает место созданию единых конвергентных сетей. Конвергенция – это взаимопроникновение технологий друг в друга.

Основа таких сетей – IP-инфраструктура, которая уже сегодня позволяет предоставлять практически весь спектр мультисервисных услуг.

За последние два десятилетия сети передачи данных с использованием протокола IP совершили огромный скачок в своем развитии. Была разработана технология коммутации по меткам (MPLS). Все это дало операторам возможность предоставлять абонентам новые услуги на основе единой транспортной сети.

Базовой технологией современных оптических транспортных сетей операторов является, как правило, инфраструктура SONET/SDH. Для передачи данных в таких сетях выделяются каналы (потoki) соответствующего уровня иерархии SDH (STM-1, STM-4, STM-16 и STM-64). В нашей стране все еще нередко применяются TDM-каналы уровня E1. Соответственно, маршрутизаторы IP работают поверх выделенных каналов.

Однако в последние годы стремительно увеличиваются объемы строительства широкополосных IP/MPLS-сетей. С распространением высокоскоростного доступа на базе Metro Ethernet и ADSL-технологий существенно возросли требования к производительности сети передачи данных на уровне агрегации и IP/MPLS-магистралей. Важное требование к оборудованию сегодня – наличие и высокая плотность оптических интерфейсов GigabitEthernet и 10 GigabitEthernet. Характерное отличие оборудования последнего поколения – наличие 40G интерфейсов с поддержкой IP/MPLS.

Интересно, что активное распространение пакетных технологий IP и Ethernet объясняется в первую очередь внедрением Triple Play для

населения, а также высокой эффективностью реализации Ethernet-услуг для бизнес-клиентов.

Дело в том, что доступность клиентских интерфейсов уровня STM-64 (10 Гбит/с) на современном SDH-оборудовании ограничена, при этом стоимость их очень высока. В то же время на рынке появились недорогие оптические GigabitEthernet и 10 GigabitEthernet-технологии. И когда перед операторами связи стал вопрос модернизации городской оптической транспортной сети, то многие предпочли построить СПД на Ethernet по выделенным оптическим волокнам и отказались от модернизации магистральной SDH-сети.

Повышенный интерес проявляют операторы к применению Ethernet на оптических магистралях регионального уровня, что возможно с построением OTN (Optical Transport Network) и использованием DWDM-систем. Например, благодаря применению рекомендаций ITU-T G.709 удастся снять ограничения по использованию оптических усилителей сигнала и получить до 5 сегментов по 20 dB без полной регенерации сигнала (до 600 км).

В декабре 2005 года известное аналитическое агентство Heavy Reading опубликовало результаты исследования «Стратегия миграции сетей Sonet/SDH на Ethernet», в котором представило анализ сетей и планов развития крупнейших операторов связи, таких как AT&T (SBC), BCE, Broadwing, BT Group, Colt Telecom Group, Deutsche Teleckom AG, Level 3 Communications, MCI, Telstra, Verizon Communications, WiTel Communications Group. В опросе участвовали также ведущие производители сетевого оборудования.

По данным Heavy Reading, 60 процентов опрошенных операторов связи уже приступили к переходу от Sonet/SDH к оптической транспортной сети Ethernet. Остальные заявили о подобных планах миграции в 2006-2007 году. В отчете отмечено также, что лидерами инноваций являются крупнейшие традиционные операторы связи, а не альтернативные. По мнению специалистов в области NGSDH-сетей переход на конвергентные сети, включающие Ethernet-доступ, займет от 5 до 10 лет [5].

В последнее время возникла необходимость в предоставлении клиентам возможности подключения не только с помощью SDH-интерфейса как раньше, а с помощью базирующихся на технологии Ethernet интерфейсов (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10Gigabit Ethernet).

Сама технология SDH была разработана для передачи мультимплексированного голосового трафика (телефонии). Не смотря на то, что со временем ее адаптировали к передаче цифровых данных общего назначения, в частности трафика IP-сетей, по прежнему SDH-сети оптимизированы лучшим образом только для трафика с постоянной во времени полосой пропускания. Для пакетных сетей с трафиком, имеющим переменный по полосе характер со всплесками (bursts), технология SDH применима лишь с рядом достаточно серьезных ограничений и не вполне эффективна.

В связи с этим для магистральных каналов собственной IP-сети ЗАО «Раском» целесообразно осуществить переход с Packet over SONET/SDH интерфейсов подключения на интерфейсы 10Gigabit Ethernet, в том числе с агрегированием портов по технологии Etherchannel там, где это необходимо.

Etherchannel – это используемая IP-оборудованием Cisco технология агрегирования портов для расширения полосы пропускания логического канала и/или обеспечения отказоустойчивости при выходе из строя одной из физических линий связи.

Причин для перехода от проверенной временем, стабильной и позволяющей выделять клиенту строго определенную полосу пропускания технологии SDH несколько. Главные из них это:

- 1) стоимость окончного оборудования с интерфейсами SDH для большинства клиентов неприемливо высока;
- 2) существует возможность выделить клиенту только фиксированный по ширине канал из иерархии SDH, у которого нет возможности вместить возможные всплески пикового трафика и значительная часть канала большую часть времени не используется.

Решить эти технологические проблемы позволяет технология Ethernet. Данную технологию можно применить на сети дальней связи,

но в случае обеспечения определенного транспорта для нее, так как не существует решений, позволяющих осуществлять связь на большие расстояния непосредственно.

Главные плюсы такого подхода:

- 1) при подключении Ethernet есть возможность выделить клиенту определенную полосу пропускания, но с возможностью превышения (burstable);
- 2) незанятая клиентским трафиком часть выделенной полосы может динамически распределяться под другие задачи, например: под собственный внутренний трафик ЗАО «Раском» или под пиковый трафик другого клиента;
- 3) механизмы обеспечения QoS позволяют в случае перегрузки каналов обеспечить гарантированную по договору ширину канала каждому клиенту.

От SDH-каналов отказаться совсем не представляется возможным. Первой причиной этого является наличие клиентов, подключенных имеено с интерфейсом SDH.

Второй причиной является то, что уже установлена масса SDH-оборудования, и крайне неэффективно просто списать его с финансовой точки зрения.

Существует возможность сместить область применения SDH-каналов на более низкий уровень в иерархии сети. То есть фактически оставить его только для выделенных каналов дальней связи, в ряде случаев воспользовавшись инкапсуляцией в него технологий IP/Ethernet.

1. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ IP-СЕТЕЙ

1.1. Требования к высокоскоростным IP-сетям

Под высокоскоростными сетями могут иметься в виду довольно большое множество сетей различного назначения. В данном проекте под ними понимаются магистральные операторские сети, по размерам относящиеся к классам Metropolitan (городские, до 30 км), Regional (региональные, до 400 км) и Long-haul (дальняя связь, более 400 км). Преимущественно проект посвящен именно линиям дальней связи, поскольку такова специфика компании Раском, для которой осуществляется проектирование.

В связи с постоянным ростом потоков цифрового трафика (обычно он удваивается ежегодно) одним из главных требований является обеспечение достаточных для суммарных пиковых скачков трафика скоростей передачи по магистральным каналам. Кроме того, необходимо обеспечить запас емкости магистральных каналов для подключения новых потребителей (клиентов) и прогнозируемого роста общего трафика по магистральным линиям связи.

Высокоскоростная магистральная IP-сеть должна предусматривать возможности масштабирования для увеличения пропускной способности в разы с течением времени.

Также сеть оператора связи должна обеспечивать надежность, соответствующую имеющимся международным и российским стандартам и нормативным актам.

Задержки прохождения пакетов между узлами операторской сети должны быть в пределах задаваемых на этапе проектирования допусков. Эти допуски определяются при помощи расчета, базирующегося на определении составляющей задержки, вносимой средой передачи

(сопротивлением прохождению света в оптическом волокне). Это справедливо для сетей дальней связи, поскольку в них наибольшую и определяющую задержку определяет именно длина линии связи.

Следует отметить, что процесс модернизации сети в эффективно работающей телекоммуникационной компании приобретает перманентный характер. Завершение очередного этапа модернизации, как правило, является началом нового.

1.2. Анализ магистральной транспортной сети связи ЗАО «Раском»

Транспортная сеть ЗАО "Раском" создана исключительно на основе оборудования SDH и DWDM производства компании Nortel.

Применение технологии DWDM обусловлено тем, что в случае непосредственного использования оптических волокон для системы передачи STM-16 или STM-64 любая дальнейшая модернизация становится невозможной, поскольку будет требовать полного закрытия связи по данной системе на несколько дней или недель для организации линейного тракта более высокого уровня. В случае DWDM линейного тракта включение новых систем передачи осуществляется без перерыва связи по существующим системам и, кроме того, появляется возможность использовать некоторые рабочие длины волн для систем передачи клиентов уровня STM-16 или STM-64.

Технологии DWDM позволяет существенно увеличить пропускную способность существующих оптических волокон. Даже если в будущем стоимость волокна уменьшится за счет использования новых технологий, волоконно-оптическая инфраструктура (проложенное волокно и установленное оборудование) всегда будет стоить достаточно дорого. Для ее эффективного использования, необходимо иметь возможность в течение долгого времени увеличивать пропускную способность сети и менять набор предоставляемых услуг без замены оптического кабеля. Только технология DWDM предоставляет такую возможность. Особенно привлекательно ее использование на линиях большой протяженности, где стоимость оборудования линейного тракта превышает 80% всей системы связи.

В 2000 г. Nortel предлагал широкий выбор технических решений для модернизации существующих ВОЛС с применением технологии DWDM. Наиболее перспективным по технико-экономическим показателям было строительство линейного тракта на основе усилителей оптических сигналов MOR+ (Multiwavelength Optical Repeaters). Они

использовали эффект усиления оптических сигналов в волокне, легированном эрбием (EDFA). MOR+ позволяли создать экономичные системы оптической связи с суммарной пропускной способностью до 320 Гбит/с.

В качестве каналообразующего оборудования работает система передачи TN-64X, которая длительное время производилась компанией Nortel. Она постоянно модернизировалась, и зарекомендовала себя, как одна из самых популярных и надежных систем передачи для строительства мощных магистральных сетей большой протяженности.

К числу основных особенностей TN-64X, которые предопределили ее коммерческий успех, следует отнести, прежде всего, следующие:

1) Защита трафика в режиме 4-х волоконного кольца по схеме MS-SPRing и поучастковой защитой трафика между соседними мультиплексорами ADM. Поучастковая защита трафика возможна не только в режиме кольца, но и в режимах "точка-точка" и "цепочка".

2) Применение в мультиплексорах и регенераторах TN-64X передатчиков с "окрашенными" линейными интерфейсами в рабочем диапазоне длин волн усилителей EDFA.

3) Возможность коррекции формы передаваемого сигнала (Chirp) для ослабления влияния на него хроматической дисперсии в зависимости от типа применяемого кабеля и используемых длин волн.

4) Использование алгоритма опережающего избыточного кодирования информационного сигнала FEC (Forward Error Correction). Он обеспечивает избыточное кодирование информационного потока с использованием свободных байт заголовка кадра SDH. Применение FEC позволяет в случае недостаточного, но не выходящего за пределы 2 дБ, энергетического бюджета усилительной секции или регенерационного участка снизить коэффициент ошибок 10-12 до 10-15. Если энергетический бюджет линии соответствует норме, то применение FEC позволяет снизить коэффициент ошибок до значения 10-17.

5) Архитектура мультиплексора ADM системы передачи TN-64X обеспечивает кроссконекта трафика 4:4 на уровне виртуальных контейнеров VC-4. Это дает возможность маршрутизировать

виртуальные контейнеры VC-4 из оптических агрегатов в трибутарные блоки, пропускать их транзитом с одного оптического агрегата на другой, меняя номера виртуальных контейнеров в агрегатных сигналах, передавать их с одного трибутарного блока на другой, маршрутизировать VC-4, поступающий с одного из оптических агрегатов одновременно на несколько трибутарных блоков и другой оптический агрегат. Встроенные средства кроссконекта позволяют использовать мультиплексоры TN-64X для создания мощных узлов распределения трафика и объединения сложных кольцевых структур в единую транспортную сеть.

6) Наличие встроенных аппаратных и программных средств промежуточного контроля качественных характеристик каналов и трактов, в том числе и транзитных, на уровне виртуальных контейнеров VC-4. Эти средства облегчают и автоматизируют обнаружение и локализацию отказов сетевого оборудования.

Следует отметить, что сертификационные испытания оборудования TN-64X и оборудования DWDM линейного тракта на основе усилителей MOR+ проводились на магистральной сети ЗАО "Раском".

На базе системы передачи STM-64 и оборудования Cisco ЗАО "Раском" создал мощную наложенную магистральную сеть передачи IP-трафика Giganet с узлами на базовых станциях в С.-Петербурге, Москве и на ММТС-9. Это была одна из первых IP-сетей построенных в России с использованием технологии MPLS. Сеть Giganet позволила предоставить клиентам ЗАО "Раском" доступ к крупнейшим международным интернет-провайдерам не только через выделенные каналы, но и через собственную IP-сеть с расчетом по объему переданного трафика.

Основным продуктом были каналы E1, E3, DS3, STM-1, STM-4 и STM-16.

Однако, последнее время возрос спрос на каналы: Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10Gigabit Ethernet, выделенные виртуальные каналы второго уровня (MPLS VPN, VLAN) с ограниченной пропускной способностью 20, 100, 200, 400, 500 Мбит/с.

Это было обусловлено следующими причинами:

- стремительным развитием телекоммуникационной инфраструктуры мегаполисов Москвы и С.-Петербурга, прежде всего в области создания и развития коммерческих IP-сетей, интернета, традиционных и сотовых телефонных сетей;
- непосредственным появлением на российском рынке крупнейших международных операторов связи;
- вводом в эксплуатацию новых волоконно-оптических магистральных сетей на границу (например, РТ-Комм);
- падением цен на выделенные каналы, вызванным ожесточенной конкуренцией операторов магистральной связи.

1.3. Основные направления модернизации

Основные направления модернизации будут производиться в соответствии с общими тенденциями развития сетей связи, представленных на рис. 1.1.

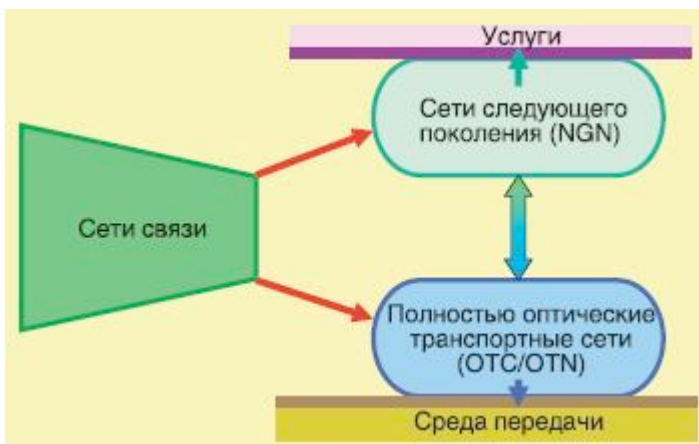


Рис. 1.1. Тенденции развития сетей связи.

Данный рисунок иллюстрирует следующие положения:

- в NGN транспортный уровень и уровень формирования услуг должны быть технологически разделены и могут развиваться независимо друг от друга.
- транспорт NGN должен базироваться на пакетных технологиях и слое прозрачных оптических каналов.

При выполнении модернизации магистральной сети мы будем обязаны разбить ее на несколько этапов. Это обусловлено тем, что для организации более высокоскоростных каналов связи потребуется не только выбрать и установить соответствующее IP-оборудование, но и выбрать и установить устройства сопряжения IP-оборудования и транспортной сети. А устройства сопряжения, в свою очередь, обязывают изменить основную транспортную систему.

Итак, получается, что необходимо выполнить следующие шаги:

- 1) внести изменения в транспортную сеть для улучшения показателей транспортной сети, таких как: пропускная способность, возможности наращивания пропускной способности в широком диапазоне, поддержка устройств сопряжения с различными протоколами и технологиями передачи;
- 2) выбрать и установить устройства сопряжения транспортной сети с требуемым оборудованием IP-сети;
- 3) выбрать оборудование и подключить IP-сеть через устройства сопряжения.

1.4. Постановка задач дипломного проекта

Целью данной дипломной работы является разработка методов и средств построения современной наложенной магистральной сети для передачи IP-трафика на большие расстояния. Основой для ее создания является магистральная транспортная сеть связи ЗАО "Раском", построенная с использованием технологий DWDM и SDH. Она по своему основному назначению предназначена для организации стандартных выделенных цифровых каналов связи плезиохронной (E1, E3, DS3) и синхронной (STM-1, STM-4, STM-16, STM-64) цифровой иерархии.

Проектируемая сеть передачи IP-трафика должна объединить следующие узлы магистральной сети связи ЗАО "Раском":

- 1) РФ, Москва, ул. Бутлерова, 7, ММТС-9, узел доступа "MOS.9";
- 2) РФ, Москва, Комсомольская пл., 3/10, Дом связи ОЖД, оконечный узел магистральной сети связи "MOSCOW";
- 3) РФ, С.-Петербург, ул. Боровая, 57, ИБЦ ОЖД, промежуточный узел магистральной сети связи "SPB";
- 4) Finland, Helsinki, Radiokatu, 5, YLE's TV-station, промежуточный узел магистральной сети связи "HELSINKI";
- 5) Sweden, Stockholm, Kista, Esbogatan, 11, Telehause "Interxion", оконечный узел связи "STOCKHOLM";
- 6) Sweden, Stockholm, Kista, Torshamnsgaten, 35, MCI Colo-1, узел доступа "STOCKHOLM MCI";
- 7) Germany, Frankfurt, Kleyerstrasse, 90, ITENOS Buiding, "Ancotel", узел доступа "FRANKFURT".

На сегодняшний день выделение IP-трафика на хельсинкском магистральном узле связи не предполагается. На нем осуществляется только регенерация IP-трафика на уровне каналообразующего оборудования DWDM и SDH.

Полоса и маршруты потоков IP-трафика разрабатываемой наложенной магистральной сети приведены ниже на рис. 1.2.

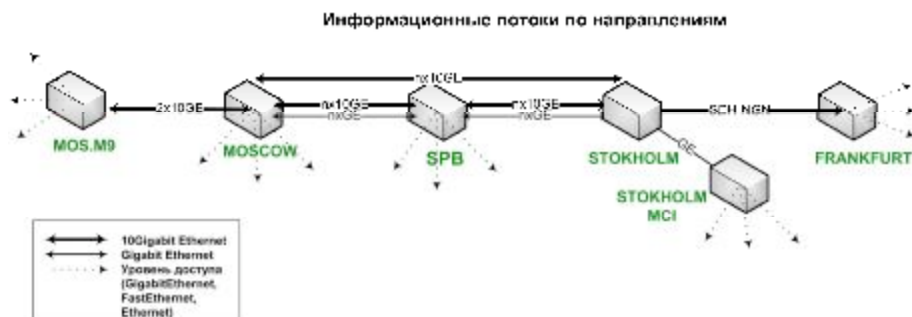


Рис. 1.2. Топология наложенной магистральной сети передачи IP-трафика.

Под уровнем доступа понимается логически выделенный уровень сети, на котором производится включение оборудования конечных клиентов. В сети ЗАО «Раском» конечными клиентами, как правило, являются интернет-провайдеры различного размера, гос. организации, а также крупные коммерческие организации и производства.

Учитывая специфику услуг, предоставляемых ЗАО "Раском" в рамках наложенной сети с коммутацией пакетов, ориентированную, прежде всего, на организацию мощных трактов передачи IP-трафика уровня Level 2, в качестве основы реализации сети следует выбрать технологию Ethernet.

Выбор методов и способов решения поставленной задачи должен учитывать то, что магистральная транспортная сеть ЗАО "Раском" построена на базе оборудования DWDM линейного тракта CPL и OME6500BB и каналообразующего оборудования SDH OME6500MSPP. Это оборудование имеет широкий спектр технических средств для построения наложенных сетей Ethernet, как на уровне линейного тракта, так и поверх SDH с использованием технологии NGN. Следует отметить, что последние версии аппаратных средств и программного обеспечения соединили возможности OME6500BB и OME6500MSPP в универсальном

мультиплексоре OME6500. Естественно, что при выборе метода и способов модернизация магистральной сети ЗАО "Раском" необходимо выбрать путь, который позволит максимально полно использовать имеющуюся инфраструктуру транспортной сети и ранее сделанные инвестиции.

Дипломная работа должна предусматривать следующие этапы решения поставленной задачи:

- 1) анализ существующей магистральной транспортной сети связи ЗАО "Раском" с тем, чтобы выбрать методы и способы построения на ее базе наложенной сети передачи IP-трафика;
- 2) обоснование выбора технических средств создания наложенной магистральной IP-сети;
- 3) разработку схемы связи наложенной магистральной IP-сети и схем отдельных ее элементов;
- 4) теоретическую и экспериментальную оценку основных технических характеристик разработанной сети.

Критерии выбора оборудования для строительства зарубежного продления учитывают перспективы развития современных технологий связи, которые диктуют выбор в качестве стратегического направления развития сети ЗАО "Раском" ориентацией ее на передачу мощных информационных потоков IP-трафика поверх транспортного уровня SDH и напрямую через DWDM.

На выбор оборудования в данном случае существенное, если не решающее, значение имеет то, что на территории Финляндии и Швеции ЗАО "Раском" не сможет создать такую же эксплуатационную инфраструктуру, как на территории России.

Система передачи должна длительное время работать в автономном режиме при минимальном обслуживании. Она должна иметь серьезный запас мощности оптических сигналов для компенсации возможной деградации характеристик оптического волокна. К каналообразующему оборудованию и оборудованию DWDM-линейного тракта предъявляются повышенные требования по надежности, возможностям автоматического мониторинга и управления. Кроме того,

оно должно серийно выпускаться и активно модернизироваться в течении ближайшие 5 – 10 лет, отвечать современным требованиям к уровню сервиса и поддерживать внедрение перспективных технологий развития транспортных сетей.

При выборе технических характеристик разработанной IP-сети, подлежащих теоретической и экспериментальной оценки были выбраны следующие:

- 1) реальная полоса цифровых трактов разработанной сети Ethernet, организованных на базе технологии SDH-NGN (измерение реальной полосы и теоретическое обоснование полученных результатов);
- 2) задержка пакетов на наиболее важных участках магистральной сети передачи IP-трафика (теоретическая оценка и измерение на сети);
- 3) коэффициент готовности магистральной транспортной сети (расчет и обоснование в соответствии с требованиями рекомендации ITU G.602 и нормативными документами РФ).

Перечисленные параметры не являются исчерпывающим перечнем технических характеристик IP-сети. Их выбор обусловлен требованиями SLA (Service Level Agreement) который является основным документом, определяющим качественные характеристики услуги при заключении договора между оператором связи и клиентом.

2. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ

2.1. Разработка метода построения IP-сети поверх транспортной SDH и DWDM магистральной сети связи

Рассмотрим возможные на сегодня базовые методы предоставления услуги магистрального Ethernet с точки зрения построения ядра операторской IP-сети дальней связи. (Рис. 2.1.)

Стандартные методы построения магистральных IP сетей

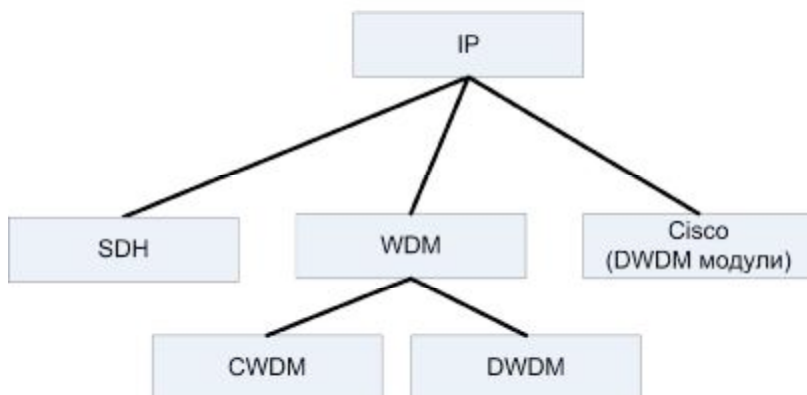


Рис. 2.1. Стандартные методы построения магистральных IP-сетей

SDH

Технология Ethernet over SONET/SDH позволяет передавать Ethernet пакеты через SONET/SDH инфраструктуру. В настоящее время доступны и многоточечные решения.

Следующее поколение SONET/SDH (Next Gen SONET/SDH), используя Generic Framing Procedure (GFP) и ряд других методов, позволяет строить VPN второго уровня на основе SONET/SDH (обеспечивая передачу не только Ethernet фреймов).

Рынок передачи данных по SONET/SDH в городских сетях растет тем больше, чем чаще у клиентов возникает потребность в услуге пересылки информации на большие расстояния. Общая процедура формирования кадров (Generic Framing Procedure, GFP) представляет собой транспортный протокол, посредством которого пакетные данные доставляются по сети мультиплексной передачи с разделением каналов по времени (Time Division Multiplex, TDM), как SONET/SDH. GFP предлагает несколько преимуществ:

- высокую эксплуатационную надежность, поскольку все содержимое, включая служебную информацию, может быть защищено при помощи кода CRC;
- небольшое время задержки при использовании прозрачного режима GFP (GFP-T);
- прозрачное соединение на втором уровне посредством GFP-T;
- детерминированную пропускную способность;
- поддержку множества протоколов;
- умеренные накладные расходы.

Существует две разновидности протокола GFP:

- 1) Framed GFP (GFP-F) или фреймированный GFP оптимизирован для максимальной пропускной способности в ущерб задержкам. В нем весь Ethernet фрейм (или фрейм другого канального протокола) инкапсулируется во фрейм GFP с заголовком.

- 2) Transparent GFP (GFP-T) или прозрачный GFP используется для транспортировки трафика с минимальными задержками (например, для потоковых видеотрансляций). В нем малые группы байт передаются сразу, не ожидая получения полного фрейма в буфер.

WDM

На рынке предлагаются WDM-решения (спектрального уплотнения) двух типов:

- 1) CWDM. Coarse WDM, недорогая технология с пассивными оптическими мультиплексорами и ADM. CWDM обеспечивает 8 длин волн в одном физическом волокне (1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590 и 1610); несовместим со стандартными оптическими усилителями, обеспечивает максимальную дальность до 100 км без регенерации сигнала.
- 2) DWDM. Хорошо зарекомендовавшая себя технология с активной инфраструктурой. DWDM обеспечивает от 32 длин волн в одном физическом волокне. Частотная решетка стандартизована ITU (grid 100 GHz, 50 GHz). В зависимости от применяемой инфраструктуры максимальная дальность без регенерации сигнала может достигать от 200 до 600 км.

Возможно было бы реализовать проект модернизации транспортной сети с использования систем CWDM, к примеру, на магистрали Москва — Санкт-Петербург. Формирование “цветных” CWDM-потоков осуществляется GBIC-модулями, устанавливаемыми в коммутаторы Gigabit Ethernet, а их объединение — CWDM-мультиплексорами. Поскольку линия связи оказывается достаточно протяженной, требуется регенерировать сигнал. С этой целью опять же используются коммутаторы Gigabit Ethernet. И такое “короткодействующее” CWDM-решение с регенераторами окажется экономически невыгодным по сравнению с “дальнобойными” системами DWDM.

Помимо увеличения емкости сети ключевыми преимуществами DWDM следует считать его высокую совместимость с новыми протоколами передачи данных и возможность эффективного устранения перегрузок благодаря отказу от опто-электро-оптического (ОЕО) преобразования. ОЕО-преобразование – это наиболее дорогостоящий этап в современных сетях передачи данных как по капитальным затратам, так и по стоимости обслуживания. С точки зрения топологии и уровня обслуживания, Ethernet, приспособленный к ячеистой структуре, и ячеистое DWDM идеально дополняют друг друга.

Сети DWDM снижают потребность в прокладке волоконных линий благодаря освоению ресурсов уже существующей инфраструктуры. Идея в том, чтобы передавать информацию не на одной длине волны, а задействовать разные длины волн, полнее используя почти неограниченную волновую емкость оптоволокон. [19]

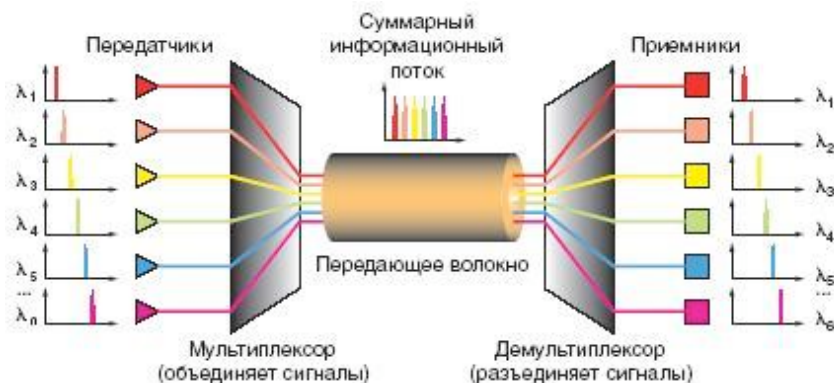


Рис. 2.2. Принцип работы DWDM-системы.

Технология DWDM позволяет создать и использовать на практике полностью оптические сети AON (All Optical Network), в которых оптические сигналы не преобразовываются в электрическую форму на промежуточных узлах. Из-за большого количества абонентов и огромных скоростей передачи данных в магистральных оптических сетях обеспечение их работоспособности становится исключительно важной задачей. Одной из наиболее привлекательных возможностей DWDM

является то, что при модернизации существующих сетей связи данная технология позволяет увеличить пропускную способность волоконно-оптической линии связи, практически не меняя существующее электронное оборудование. Новые каналы добавляются в линию связи на новых длинах волн, никак не затрагивая уже существующие каналы. При этом сами каналы могут иметь различные протоколы и скорости передачи и, их не требуется синхронизировать между собой.

Cisco с DWDM модулями

Не смотря на то, что Cisco сейчас предлагает ряд модулей для своих маршрутизаторов, которые поддерживают сами по себе технологию DWDM, имея встроенные кросспондеры, ее решения пока не готовы быть использованы для построения сетей дальней связи. Это обуславливается низкой дальностью данных модулей и отсутствием широкого спектра функций AON – полностью оптических транспортных сетей.

Главные требования к транспортной сети:

- Транспортная сеть должна быть универсальной и индифферентной к типу транспортируемой информации.
- Транспортная сеть должна обладать свойством адаптации к объемам передаваемой информации.

Этим требованиям отвечает сеть, построенная поверх DWDM-платформы, на которой интегрированы и независимо работают технологии IP/Ethernet, SDH и NGSDH.

Наличие свободной оптики и применение DWDM в региональных сетях позволяет уже сегодня с целью расширения пропускной полосы оптической транспортной сети не модернизировать TDM/SDH базу, а построить параллельную GE/10GE сеть и перевести на нее трафик передачи данных. Такой путь скорее всего позволит оптимизировать капитальные и операционные затраты оператора.

Основные архитектурные моменты проектируемой системы:

- 1) в качестве транспортной основы для любых информационных потоков будем использовать DWDM-технологии последнего поколения (NGM-решения Nortel);
- 2) для SDH-клиентских интерфейсов будет использовать SDH-модули прямо в транспортных мультиплексорах системы;
- 3) основная магистральная IP-сеть будет проключена в DWDM с помощью транспондеров;
- 4) среднескоростные IP-подключения и выделенные виртуальные каналы 2-го уровня (до 1 Гбит/с) следует организовать используя NGSDH принципы;
- 5) предусматриваются варианты подключения DWDM-устройств, имеющих собственные передатчики стандартных длин волн DWDM, через те же транспортные мультиплексоры;
- 6) предусматривается организация резервных каналов для IP-оборудования через NGSDH.

Разработанный метод построения магистральной IP сети

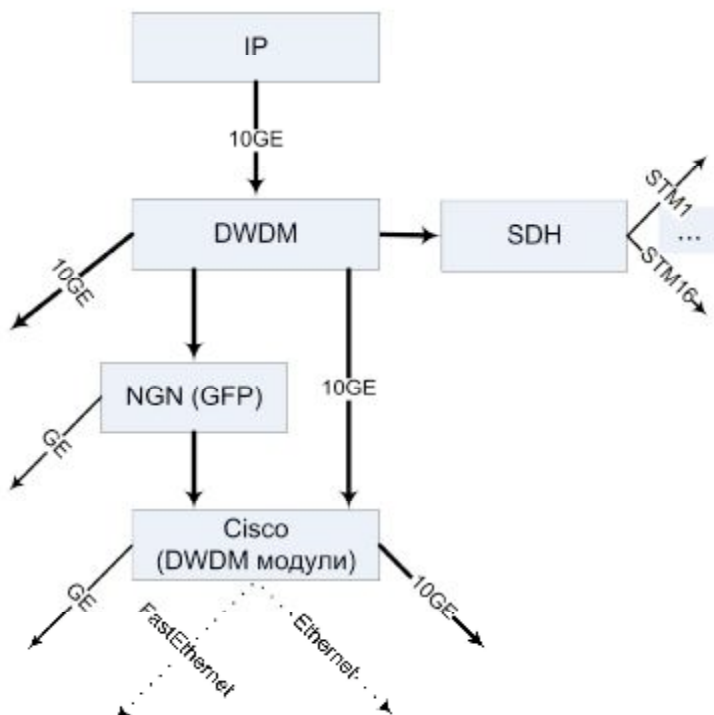


Рис. 2.3. Общая схема метода построения магистральной IP-сети.

Разработанный метод позволил реализовать конвергентную систему, отвечающую всем предъявленным требованиям.

2.2. Модернизация транспортной сети

Отправной позицией развития транспортных сетей, естественно, является их существующее положение. Несмотря на очень большой разброс степени развития транспортных сетей в России, да и в мировом масштабе, современную ситуацию в целом можно охарактеризовать следующими тезисами:

- основной средой передачи стационарных сетей являются волокна оптических кабелей;
- основным транспортным средством являются системы передачи синхронной цифровой иерархии (СЦИ/SDH);
- технологии спектрального уплотнения (Wavelength Division Multiplexing – WDM), пакетные технологии (ATM, IP, Ethernet и др.) используются в той или иной степени в зависимости от конкретных условий и уровня развития сети.

В результате существующие транспортные сети представляют собой различные варианты многослойных структур, которые изображены на рис. 2.4.

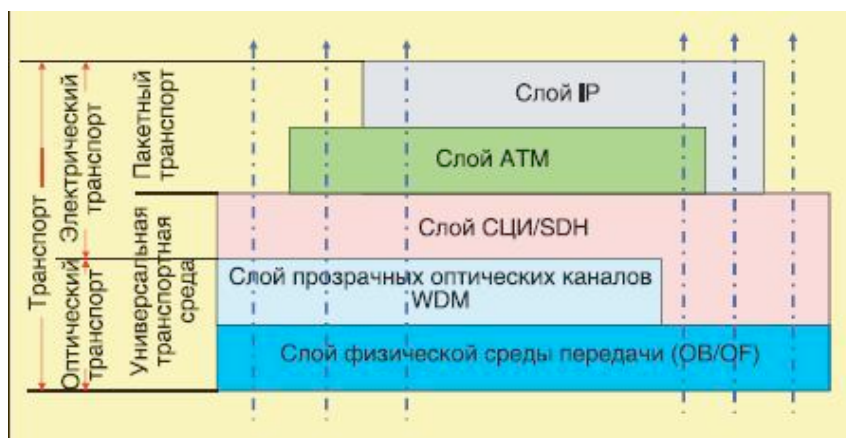


Рис. 2.4. Многослойные структуры транспортных сетей.

В существующих смешанных оптико-электронных сетях имеются 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.

В классических транспортных сетях возникают так называемые технологические цепочки, представленные на рис. 2.5.

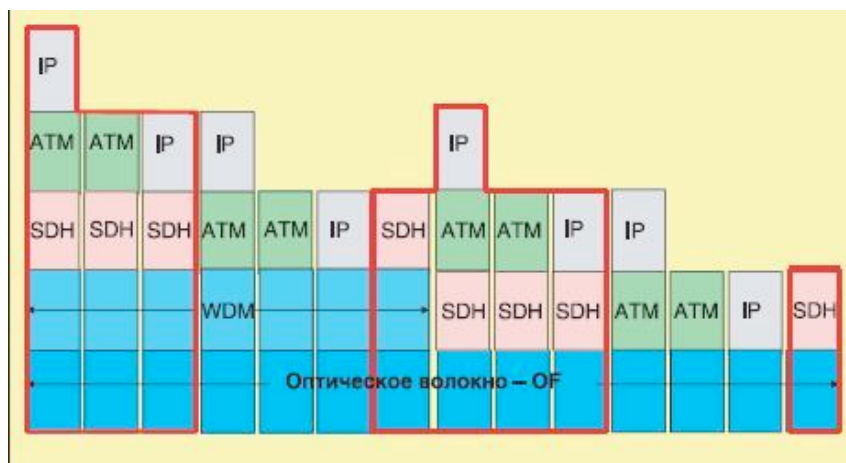


Рис. 2.5. Технологические цепочки в транспортных сетях.

В полностью оптической транспортной сети – ОТС (Optical Transport Network – OTN) перечисленные выше недостатки смешанных сетей могут быть устранены. Функции, характерные для систем СЦИ/SDH, в ОТС реализованы на оптическом уровне. По этой причине практически любые телекоммуникационные технологии могут

«опираться» непосредственно на ОТС. Архитектура телекоммуникационных сетей упрощается, так как технологические многозвенные «одна поверх другой» цепочки становятся излишними (Рис. 2.6.). Наличие полностью оптических регенераторов снимает ограничение по протяженности непрерывных оптических каналов. Отсутствие в пределах ОТС электрических (электронных) фрагментов позволяет оперировать сигналами, очень большого информационного объема, недоступного электронной аппаратуре. Итак, основными достоинствами ОТС являются:

- отсутствие ограничений по протяженности;
- функциональность, подобная СЦИ/SDH;
- доступ к ОТС сигналам различного формата через открытый оптический интерфейс;
- возможность оперировать сигналами очень большого информационного объема, недоступного электронной аппаратуре.

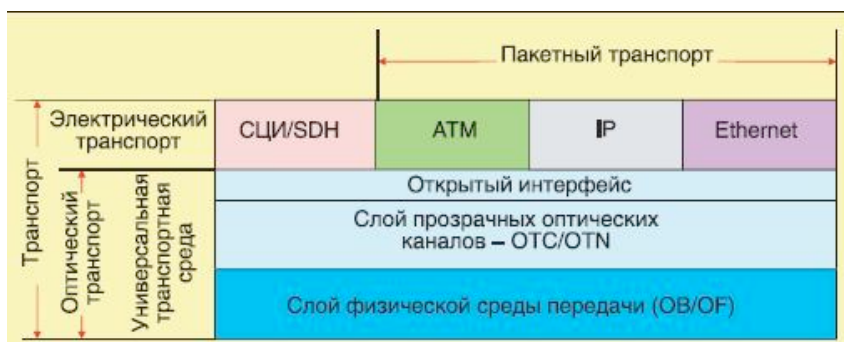


Рис. 2.6. Упрощение архитектуры телекоммуникационных сетей.

На выбор оборудования большое влияние оказала его совместимость с существующей системой сетевого управления и имеющимися программными средствами планирования сети. Создание новой независимой системы управления могло привести к увеличению стоимости проекта на 40-50%.

Учитывая длительное и плодотворное сотрудничество, компания Nortel предоставляет ЗАО "Раском" исключительно выгодные условия приобретения оборудования. Естественно, что при выборе оборудования для модернизации магистральной сети, особое внимание было обращено на высокоскоростные SDH мультиплексоры и оборудование DWDM, производимое именно этой компанией.

Следует особо отметить, что компания Nortel обладая богатым опытом разработки и производства транспортного SDH оборудования, одной из первых в 1993 г. приступила к созданию синхронного цифрового мультиплексора уровня STM-64X и оборудования линейного тракта с использованием технологии DWDM.

Технологии WDM существуют уже не первый год, но именно сейчас наблюдается быстрый переход к решениям WDM нового поколения. Это связано с появлением технологий ROADM и настраиваемых лазеров. Именно эти технологии при правильной реализации платформы позволяют операторам воспользоваться преимуществами WDM в полном объеме. Предыдущие технологические решения требовали физического прерывания потоков данных для добавления новых клиентов или посещения техническим персоналом всех узлов для проведения работ каждый раз, когда требуются изменения в сети. Новые технологии, позволяющие программно перестраивать сеть, и их оптимальная физическая реализация значительно упрощают эксплуатацию сети.

Модернизация транспортной сети основана на установке новых мультисервисных платформ Nortel: OME6500 – SDH/DWDM мультиплексор STM-64 нового поколения NGN (Next Generation Network), предназначенный для построения высокоскоростных мультисервисных транспортных сетей. Он реализует три уровня обработки трафика: оптический (Level 0), SDH-уровень (Level 1) и уровень коммутации пакетов (Level 2). OME6500 может использоваться в качестве оконечного мультиплексора, мультиплексора ввода-вывода ADM или узла кросс-коннекта DXC в сетевых структурах, имеющих

топологию "точка-точка", "цепочка", "звезда", "кольцо", "ячеистая сеть", а также в качестве шлюза между сетями с различной топологией.

В зависимости от набора трибутарных и агрегатных плат он может поддерживать следующие сетевые интерфейсы:

- E1 (2 Мбит/с);
- E3/DS3 (34/45 Мбит/с);
- STM-1 (155 Мбит/с);
- STM-4 (622 Мбит/с);
- STM-16 (2,5 Гбит/с);
- STM-64 (10 Гбит/с);
- Fast Ethernet (10/100BaseT, 100BaseTX);
- Gigabit Ethernet (1000BaseT, 1000BaseSX, 1000BaseLX, 1000BaseZX);
- 10 Gigabit Ethernet (10 Гбит/с);
- CWDM, Fiber Channel и FICON;
- DWDM с шагом 50 и 100 ГГц (10 Гбит/с);
- Synchronous Ethernet.

Использование модулей SFP позволяет комбинировать оптические интерфейсы различной дальности и скорости передачи (STM-1/4) на одной плате и организовывать резервирование трафика и оборудования по схеме 1+1 для двух различных модулей на соседних платах. Наличие DWDM модулей DPO обеспечивает подключение OME6500 к оборудованию Optera Metro 5000 и CPL.

Высокая производительность полнодоступных коммутационных матриц и их 100% резервирование позволяет осуществлять операции кроссконекта трафика на уровне виртуальных контейнеров VC12/VC3/VC4 (матрица 80 Гбит/с) и на уровне VC3/VC4 (матрица 160 Гбит/с).

Мультиплексор OME6500, как представитель поколения NGN, реализует также ряд функции, необходимых для поддержки сетей с коммутацией пакетов:

- Contiguous Concatenation и Virtual Concatenation;
- Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS);
- Generic Framing Procedure (GFP);
- Resilient Packet Rings (RPR).
- Благодаря поддержке технологий GFP/RPR обеспечивается возможность высокоэффективной передачи пакетного трафика Ethernet поверх SDH в соответствии со стандартом 802.1Q VLAN.
- Для защиты трафика (в том числе пакетного) в OME6500 используются следующие схемы защиты трафика и оборудования:
- MSP 1+1 и MSP 1:1 (Multiplex Section Protection);
- SNCP (Subnetwork Connection Protection)/UPSR (Unidirectional Protection Self-healing Ring);
- MS-SPRing (Multiplex Section – Shared Protection Ring)/BSHR-4 (Bidirectional Self-healing Ring);
- Optical Path Protection;
- Dynamic mesh restoration ASTN (Automatically Switched Transport Network).
- резервирование трибутарных плат 1+1 1:N.

Оборудование OME6500 поддерживает встроенные каналы управления DCC работающие как по технологии IP, так и по технологии OSI. Для целей управления, администрирования и контроля удаленных сетевых узлов поколения NGE используется IP DCC.

Как было показано выше, в качестве каналаобразующего оборудования заданным требованиям наиболее полно отвечают мультиплексор OME6500.

В качестве оборудования DWDM-линейного тракта выбрано оборудование CPL (Common Photonic Layer) производства компании Nortel [20].

CPL – значительное достижение Nortel в области создания адаптивных полностью оптических интеллектуальных сетей, в которых на всех этапах обработки не требуется преобразование передаваемых сигналов в электрическую форму. Оно позволяет разделить транспортный оптический уровень и уровень предоставления телекоммуникационного сервиса. Такое разделение обеспечивает гибкость оборудования при строительстве городских, региональных и магистральных сетей, его оптимизацию при решении конкретных задач связи при минимальных инвестициях на самом высоком техническом уровне. При разработке CPL большое внимание уделялось увеличению интеллектуальной насыщенности оборудования, полной автоматизации всех процессов проектирования, настройки DWDM оптического тракта на этапе проведения пуско-наладочных работ, мониторинга и управления им в процессе эксплуатации и дальнейшей модернизации.

Одним из технических решений обеспечивающих гибкость оборудования стал отказ от традиционного исполнения в виде каркаса, заполняемого платами электронно-оптических блоков, объединяемых через электрический монтаж на задней стенке. Все функциональные узлы CPL выполнены в виде отдельных функционально законченных модулей, управляемых через Ethernet и соединенных оптическими патчкордами, из которых, как из кубиков формируется необходимая архитектура сетевого транспортного узла. Это в значительной мере облегчает процесс создания и изменения конфигурации сети без перерыва связи.

Особый интерес к CPL вызывает то, что оно дает возможность в диапазоне длин волн "C" построить на базе двух оптических волокон кабеля с несмещенной дисперсией DWDM линейный тракт для 36 (100 ГГц) или 72 (50 ГГц) систем передачи уровня STM-64 при дальности связи до 2000 км и более. При этом, в случае применения в качестве каналаобразующего оборудования мультиплексора OME6500 при сетке длин волн, соответствующей частотному интервалу 50 ГГц, не требуются специальных компенсаторов хроматической дисперсии. Её компенсация осуществляется автоматически в адаптивном режиме путем соответствующего изменения формы передаваемого сигнала

мультиплексора по каждой из используемых длин волн. CPL, взаимодействуя с OME6500 через программу сетевого управления транспортным уровнем Optical Network Manager обеспечивает автоматический контроль за процессом компенсации, уровнями оптических сигналов, их оптимизацией для исключения нелинейных искажений.

Оборудование CPL имеет следующие основные технические характеристики:

- число длин волн в диапазоне "С", поддерживаемых для систем со скоростями передачи 2,5, 10 и 40 Гбит/с – 36 (100 ГГц) и 72 (50 ГГц) при любой комбинации;
- поддерживаемое сетевое оборудование: OM3200/5200, OME6500, Optical Cross Connect DX/HDX/HDXc и другое оборудование, поддерживающее рекомендации ITU-T, в частности G.709;
- дальность связи: от 10 до 2000 км и более в зависимости от подключенного к CPL каналообразующего оборудования;
- контроль оптического тракта: мониторинг рабочих длин волн, постоянная динамическая оптимизация системы, автоматическая локализация неисправностей;
- поддерживаемая конфигурация оптической сети: "точка-точка", "кольцо", "ячеистая сеть" и другие распространенные схемы защиты трафика;
- порты для подключения к системе сетевого управления: 10BaseT, RS232, 10/100BaseT, COLAN;
- системы управления сетевыми элементами: SNMP, TL1, Optical Network Manager;
- потребляемая мощность при полной загрузке: 155 ВА (36 длин волн), 255 ВА (72

Рассмотрим особенности GFP-F протокола, применяемого в коммутаторах L2SS

Инкапсуляция кадра Ethernet в кадр GFP-F протокола показана на рис. 2.7.

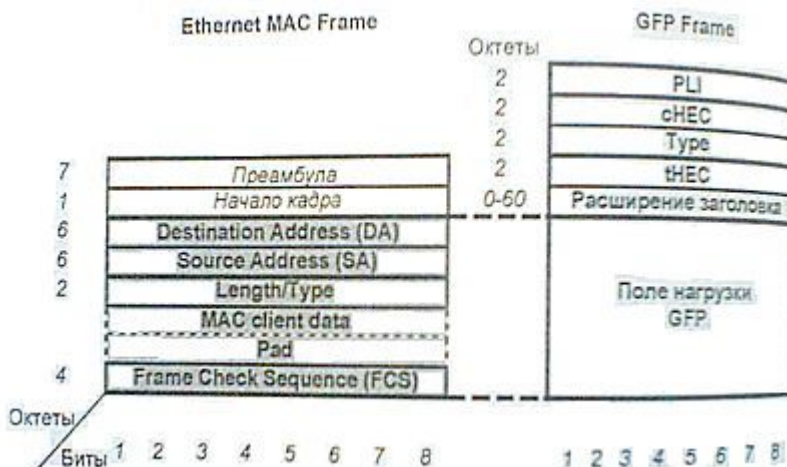


Рис. 2.7. Инкапсуляция кадра Ethernet в кадр GFP-F

Отсюда следует, что при инкапсуляции кадров Ethernet в кадры GFP-F, служебная информация составит 8 байт заголовка плюс от 0 до 60 байт расширения заголовка.

Мы получили теоретическое значение скорости передачи Ethernet-трафика через контейнеры VC-4, приняв длину расширения заголовка нулевой (столбец Theory в таблице 3.1.) .

Таблица 2.1.

Теоретическая оценка пропускной способности Ethernet трафика,
инкапсулированного в GFP-F

FrameSize	Tx fps	Theory	VC4	Header ext
64	1225935	141,23	149,76	4
128	664788	144,66	149,76	5
256	349050	147,44	149,76	4
512	178516	148,53	149,76	4
1024	90313	149,12	149,76	4
1280	72416	149,23	149,76	5
1518	61146	149,29	149,76	5

Учитывая, что через инкапсуляцию в контейнеры VC-4 проходит 149 760 Кбит/с трафика, можно сделать вывод о среднем количестве байт в поле расширения заголовка кадра протокола GFP-F (столбец **Header ext** в таблице 2.1.).

Первый этап модернизации транспортной сети представлен на рис.2.8.

(Полную схему см. приложения 1.)

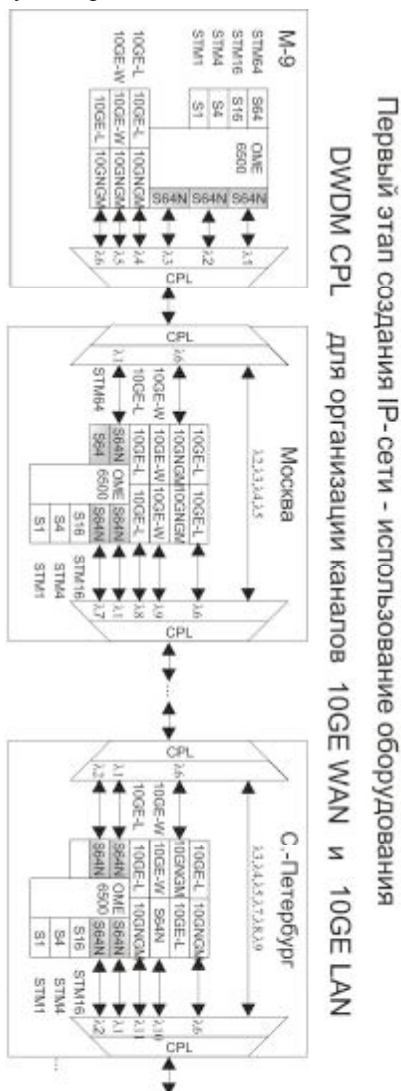


Рис. 2.8. Схема первого этапа модернизации

2.3. Модернизация IP-сети

СПД имеет иерархическую структуру. Каждый уровень иерархии СПД предназначен для агрегирования трафика, порождаемого на предыдущем уровне. Вводятся следующие уровни СПД:

- 1) Магистральный уровень СПД. На текущем этапе строительства СПД состоит из двух основных узлов – маршрутизаторов IP-пакетов (одновременно являющихся MPLS-коммутаторами), соединяемых между собой несколькими каналами STM-64 с протоколом Packet over SONET/SDH (POS) и/или 10GE. Узлы располагаются в г. Санкт-Петербург («Боровая ул., 57 – ИВЦ ОЖД, ЛАЗ 1») и г. Москва («Ленинградский вокзал»). Магистральные маршрутизаторы могут обеспечить подключение к СПД абонентов по каналам FE, GE и 10GE; кроме того, магистральный узел СПД должен обеспечить доступ к международным операторам Интернет. Основными функциями магистрального уровня являются: возможность высокоскоростной передачи протокола IP на базе технологии MPLS; подключение операторов Интернет и крупных корпоративных клиентов к высокоскоростным интерфейсам; построение закрытых виртуальных сетей.
- 2) Уровень доступа СПД. Представляет собой комплекс маршрутизаторов и коммутаторов доступа СПД, обеспечивающих доступ абонентов по интерфейсам TDM и по интерфейсам типа Ethernet (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet и 10 Gigabit Ethernet). Маршрутизаторы и коммутаторы доступа должны быть соединены с магистральными маршрутизаторами несколькими параллельными каналами по протоколу Gigabit Ethernet и 10Gigabit Ethernet. Основными функциями уровня доступа является предоставление доступа абонентов СПД по среднескоростным каналам, выполнение пограничной функции для технологии MPLS для обеспечения услуги закрытых виртуальных сетей (VPN).

Узел обмена трафиком с операторами Интернет «М9», обеспечивающий обмен трафиком с другими национальными операторами в основной точке обмена трафиком Интернет России - «М9-IX», расположенной на «Международной телефонной станции №9», г. Москва. Маршрутизатор узла должен включаться в магистральную сеть по протоколу 10Gigabit Ethernet.

Рассмотрим схему сети до модернизации и определим, почему она не отвечает требованиям технического задания (Рис. 2.11.). (Полную схему см. приложение 4.)



Рис. 2.11. Схема IP-сети до модернизации.

Главные проблемы в обозначенной схеме:

- 1) Низкая пропускная способность основного канала Москва – Санкт-Петербург и резервного линка Москва М9 – Санкт-Петербург

- 2) Организация основного канала Москва – Санкт-Петербург с помощью технологии SDH, используя платы POS в Cisco GSR12012/GRP, несет в себе все технологические минусы SDH, которые были рассмотрены выше
- 3) Маршрутизатор Cisco GSR12012/GRP имеет техническое ограничение в виде максимальной суммарной пропускной способности 2,5 Гбит/с на один модуль, что уже в настоящее время слишком мало
- 4) Маршрутизатор Cisco GSR12012/GRP по своему назначению транзитный маршрутизатор и не поддерживает многие требующиеся для высокоскоростных клиентских включений функции (например, NetFlow статистика по трафику, счетчики на интерфейсах)
- 5) Маршрутизаторы уровня доступа Cisco 7206 перестают удовлетворять по пропускной способности, так как ограничены 1 Гбит/с
- 6) Не существует возможности масштабирования потоков трафика и широкого внедрения каналов 10GE

Исходя из приведенного ряда причин требуется выбрать новые устройства уровня ядра IP-сети, обеспечить лучшую и более скоростную связность на магистральных направлениях сети, также необходимо выбрать требуемые приемо-передающие оптические модули для каждой магистральной линии связи.

Структурно необходимо обеспечить следующее:

- 1) установить 2 маршрутизатора уровня ядра, которые позволят обеспечить каналы со скоростями 10GE для магистралей сети и для подключения крупных клиентов, также которые позволят включение среднескоростных клиентов с возможностью получения статистики по трафику.
- 2) связать их двумя надежными каналами емкостью 10GE каждый, объединив их с помощью Etherchannel агрегирования

- 3) бывший основной канал IP-сети Москва – Санкт-Петербург оставить в роли резервного на случай выхода из строя оборудования, которое резервирует основной канал
- 4) обеспечить выделенные линии IP over SDH для виртуальных каналов клиентов на нескольких участках сети

При разработке структуры сети важно воспользоваться идеями принципа децентрализации. По последним оценкам компании Cisco Systems [24] реализация данного принципа в построении современных сетей, ориентированных на большие объемы трафика (в т.ч. на услуги Triple Play – голос, видео и данные по IP), несет существенную экономию и более быстрый возврат инвестиций по сравнению с сетями, построенными по применявшемуся до настоящего времени принципу централизации. Централизация приводит к тому, что все большие и большие с каждым годом объемы трафика должны проходить через центровое оборудование. Можно улучшить эту ситуацию, которая может привести к появлению «узкого» места в сети, действуя по принципу разделения функций и трафика между различными узлами сети. Кроме того, целесообразно трафик виртуальных каналов дальней связи для некоторых клиентов выделять на отдельные длины волн в транспортной сети DWDM и плюс к тому пускать напрямую через NGSDH решения в транспортных мультиплексорах, обеспечивающие IP поверх SDH.

Были организованы IP виртуальные каналы с помощью L2SS модулей в транспортных мультиплексорах. Некоторые обеспечивают виртуальные каналы Москва – Санкт-Петербург, другие каналы на границу до наших точек присутствия.

Такая архитектура является гибкой и сервис-ориентированной.

Разработанная схема IP-сети представлена на рис. 2.12. (Полную схему см. приложение 5.)

Схема физических соединений узлов опорной IP-сети после модернизации

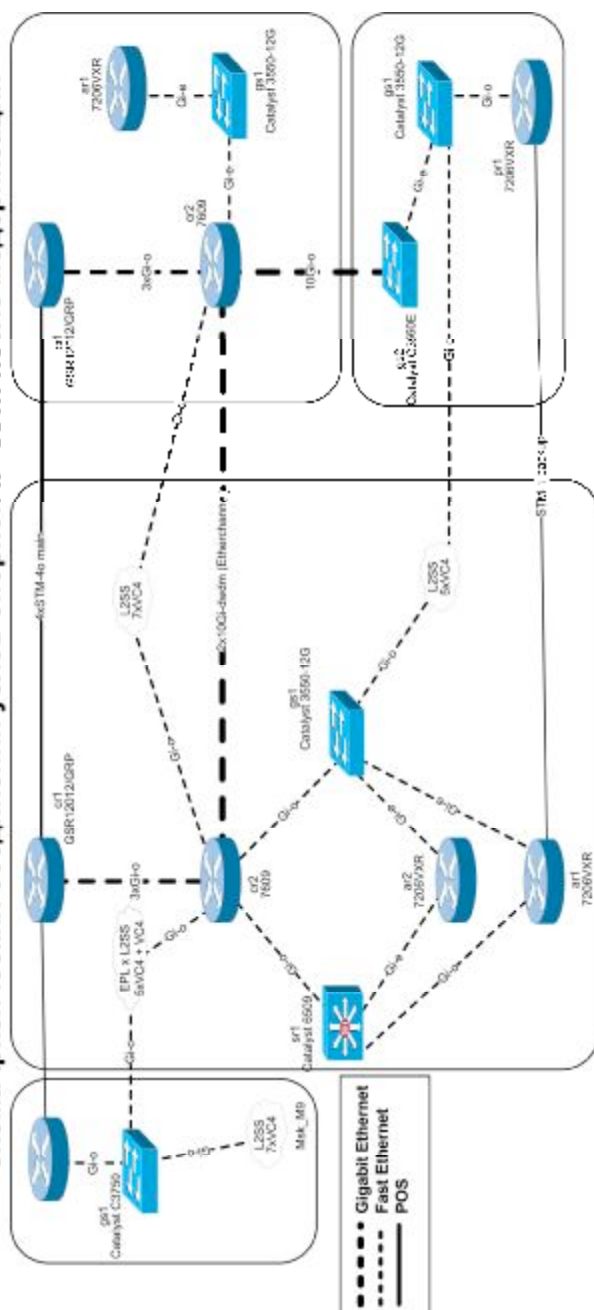


Рис. 2.12. Схема IP-сети после модернизации

Рассчитаем задержки.

В стандарте 802.3ae (10 Gigabit Ethernet) в части «Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 1: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation» [x] приведена формула для расчета задержки в оптическом кабеле через «битовое время на метр» (bit time per meter BT/m):

$$\text{cable delay} = \frac{10^{10}}{nc} \text{ BT/m}$$

Параметр n определяет отношение скорости света в оптическом волокне к скорости света в вакууме. Обычно параметр n должен предоставлять производитель оптического волокна. Но если параметр неизвестен, то принимается значение по умолчанию $n = 0,66$.

Параметр c определяет скорость света в вакууме и равен $3 \cdot 10^8$ м/с.

Для преобразования битовой задержки в единицы нс/м дана Таблица 2.2.

Таблица 2.2.

Таблица преобразования задержек в оптоволокне

Speed relative to c	ns/m	BT/m	Speed relative to c	ns/m	BT/m
0.40	8.33	83.3	0.64	5.21	52.1
0.50	6.67	66.7	0.65	5.13	51.3
0.51	6.54	65.4	0.654	5.10	51.0
0.52	6.41	64.1	0.66	5.05	50.5
0.53	6.29	62.9	0.666	5.01	50.1
0.54	6.17	61.7	0.67	4.98	49.8
0.55	6.06	60.6	0.68	4.90	49.0
0.56	5.95	59.5	0.69	4.83	48.3
0.57	5.85	58.5	0.7	4.76	47.6
0.58	5.75	57.5	0.8	4.17	41.7
0.5852	5.70	57.0	0.9	3.70	37.0
0.59	5.65	56.5			
0.60	5.56	55.6			
0.61	5.46	54.6			
0.62	5.38	53.8			
0.63	5.29	52.9			

Таблица 2.3.

Расчетные задержки между основными узлами

	км	волокон- ная, мс	требуемая, мс	%
Москва «Раском» — Санкт-Петербург «Раском» — 685 км 10GE DWDM;	685	6,9	7,9	15
Санкт-Петербург «Раском» — Франкфурт «Ancotel» — 530 + 520 + 1897 км 10GE DWDM и STM-64 SDH-NGN.	2947	29,8	34,3	15
Санкт-Петербург «Раском» — Стокгольм «МСІ» — 530 + 520 + 5 км 10GE DWDM и STM-64 NGN	1055	10,7	12,3	15

В столбце Таблицы 2.3. «волоконная» приведена рассчитанная задержка в волокне данной длины. Требуемая задержка по заданию такова, чтобы не превышать 15% по отношению к волоконной задержке распространения сигнала.

3. ВЫБОР И НАСТРОЙКА КОМПОНЕНТОВ IP-СЕТИ

3.1. Компоненты транспортной сети

Рассмотрим функциональные особенности и преимущества платформы OME6500.

Решение Nortel Optical Multiservice Edge позволяет упростить инфраструктуру сети и соответственно сократить затраты на внедрение решения. Лучшие в отрасли показатели плотности сервисных интерфейсов, впервые реализованная неограниченная одноэтапная коммутация VT-1.5/VC-12 со скоростью 80 Гбит/с, интегрированная коммутация уровня 2 (пакетная) и поддержка широкого спектра оптических модулей операторского класса с различными параметрами, такими, как скорость передачи, число волновых каналов и дальность, – все это позволяет создавать на основе этой платформы конфигурации, отвечающие реальным потребностям компаний, и более эффективно использовать имеющуюся емкость шасси.

Платформа Nortel Optical Multiservice Edge 6500, являющаяся новым шагом в развитии прекрасно зарекомендовавшей себя на рынке оптической технологии Nortel, представляет собой компактное, универсальное решение, которое устанавливает новые экономические стандарты для широкополосных соединений благодаря высочайшему уровню масштабируемости, гибкости, надежности и безопасности.

Снижение расходов на приобретение оборудования и операционных затрат

Более эффективная организация широкополосных соединений, обслуживающих приложения с высокими требованиями к пропускной способности

Разнообразие поддерживаемых сервисов и высокая плотность интерфейсов, позволяющие снизить совокупную стоимость владения

Богатый выбор оптических интерфейсов с различными показателями дальности, скорости передачи и количества волновых каналов

Необходимые шаги для организации выделенных каналов:

- Установка платы L2SS в мультиплексорах OME65000 в Петербурге и Стокгольме, через которые будут организованы два новых стыка GE с Global Crossing в Стокгольме и стык GE с MCI.
- Установка платы L2SS в мультиплексор OME6500 в Москве и платы EPL в мультиплексор OME4200 во Франкфурте и организация стыка GE с Sprint во Франкфурте.

Рассмотрим возможности коммутатора сервисов 2-го уровня Layer2 Service Switch.

Основные свойства:

- Функциональность коммутатора с поддержкой качества обслуживания (QoS)
- Коммутатор расположен непосредственно в карте
- Виртуальные локальные сети
- Основанные на тэгах (VLAN tag):
- Политики и QoS для каждого клиента
- Соединения из точки в точку с использованием общего оборудования
- Масштабирование до 64 групп VCG на каждую карту
- Ширина полосы своя для каждого клиента
- Статистическое мультиплексирование

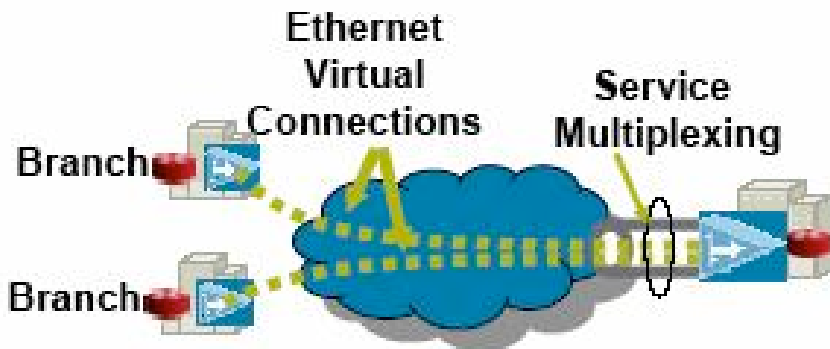


Рис. 3.1. Организация каналов с помощью L2SS.

Traffic Management

- 5 классов обслуживания (802.1p)
- Policing (с гранулярностью 64кбит/с)
- 4 порта GE SFP
- Link Aggregation (802.3ad)
- VLAN
- Stacked VLANs – QiQ:
 - Tagged/untagged frames

Интерфейсы WAN:

- инкапсуляция GFP-F
- GFP работает с оборудованием Nortel и другим, соответствующим стандарту
- 64 групп VCG (или WAN)

Модуль L2SS для платформы OME6500 позволяет предоставлять услуги тем, чье оборудование работает на 2-ом уровне сетевой архитектуры - Ethernet.

Модули L2SS обеспечивают возможность объединять и коммутировать Ethernet-сети.

Ethernet-сервисы, которые поддерживают модули L2SS, можно назвать виртуальными Ethernet-сервисами.

Виртуальный Ethernet-сервис – это когда мультиплексируется множество клиентских потоков данных внутри имеющейся транспортной инфраструктуры (либо на 1-ом уровне, либо на 2-ом).

Такие Ethernet-сервисы называют Ethernet Virtual Line (EVL) или Ethernet Line Aggregation (ELA).

Главным достоинством модулей L2SS для использования на магистральной сети ЗАО «Раском» является важная возможность – управление QoS трафика IP-сети. В виду и так имеющих место быть накладных расходов при инкапсуляции Ethernet в SDN при помощи GFP, что влечет уменьшение реальной полосы пропускания, приоритезация трафика по QoS выходит на первый план для возможности обеспечения договорных обязательств по полосе пропускания перед клиентами.

Рассмотрим возможности коммутатора сервисов 2-го уровня EPL OPE100.

EPL предоставляет сервис, обеспечивающий соединение точка-точка на втором уровне, с использованием интерфейсов Ethernet. Коммутатор EPL следует рассматривать как эволюцию выделенных/арендованных каналов через TDM, которая имеет такие же коэффициент готовности и качественные показатели, но за меньшую стоимость и с большей эффективностью.

Данный вид услуги поддерживает расширенные атрибуты (например, настраиваемую полосу пропускания), которые являются дополнительным преимуществом для услуг пакетной передачи.

Услуги через коммутатор EPL предоставляются конечным пользователям, используя ресурсы резервированной транспортной сети. При этом трафик конечных пользователей разделен по различным виртуальным контейнерам в SDH (так называемая изоляция на уровне 1 в TDM).

Услуга Ethernet Private Line (выделенное соединение Ethernet) способна обеспечить требуемый уровень сервиса и производительности, прописанный в SLA, и поддерживает QoS, высокую безопасность и доступность. Поэтому данный вид услуги подходит для клиентов уровня операторов связи и для критических для бизнеса приложений.

OPE100 (Optical Packet Edge 100) упаковывает Ethernet фреймы напрямую в SDH фреймы, что вместе с применением технологии Virtual Concatenation (VCX) дает эффективность использования полосы пропускания и возможность адаптивной настройки.

Предоставление сервиса EPL через плату OPE100 дает возможность сервис-провайдерам предлагать услуги с лучшей гибкостью и масштабируемостью.

Ключевая особенность OPE100 заключается в пакетно-оптимизированном транспорте нового поколения.

Также OPE100 может предоставлять услуги, используя кольцевую топологию и STP (Spanning Tree Protocol) для обеспечения быстрого

восстановления связи при отказе одного из нескольких путей (избыточных).

Одним из главных достоинств модулей EPL OPE100 является их сравнительно низкая стоимость. Но зато на них нет возможности управлять QoS.

3.2. Компоненты IP-сети

В качестве узлового оборудования было решено использовать маршрутизаторы и коммутаторы производства Cisco Systems.

Такое решение было выбрано исходя из того, что в имеющейся сети передачи данных базовым оборудованием уровня ядра уже долгое время являлись устройства Cisco Systems и продемонстрировали отличную эффективность и надежность. Кроме того, за счет давних партнерских отношений с крупным поставщиком сетевого оборудования Cisco цены, предоставляемые им существенно дешевле по программе скидок. Важно отметить, что налаженные отношения с поставщиком оборудования определяют еще несколько моментов: сроки поставки на новые заказы, техническая поддержка устройств, услуги по гарантийному обслуживанию. Все эти моменты могут являться критическими для бизнеса крупного оператора связи. С технической стороны, устройства одного производителя гораздо легче «состыковать» между собой во многих отношениях. (В том числе упрощается задача мониторинга состояния узлов гомогенной системы.)

В качестве маршрутизаторов уровня ядра IP-сети были выбраны Cisco 7609 и 7606, признанные и используемые большинством серьезных операторов. Только данные модели устройств в линейке данного производителя могут обеспечить ту мощность по обработке, передаче, маршрутизации трафика, которая есть на данный момент и ту, которую планируется задействовать в ближайшем будущем.

Cisco 7609 обеспечивает пропускную способность коммутации трафика до 720 Гбит/с за счет модуля Cisco Route Switch Processor 720 (RSP 720).

Различные виды модулей, устанавливаемые в данный маршрутизатор, позволяют организовывать клиентские подключения типа Ethernet со скоростями от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с.

Cisco 7606 обеспечивает пропускную способность коммутации трафика до 480 Гбит/с (сама платформа) за счет модуля Cisco Route Switch Processor 720 (RSP 720).

Эти маршрутизаторы позволяют использовать по два установленных роутинг-процессорных модуля, работающих в hot-standby режиме и обеспечивающие 100% резервирование в случае отказа одного из этих модулей. Также устанавливается по два блока питания на каждый маршрутизатор и обеспечивается 100% резервирование по питанию.

Для построения основных магистральных каналов используем модули для Cisco 7609 (см. рис. 5.8.), поддерживающие установку контроллеров интерфейсов 10GE в форм-факторе XENPAK в модули 4x10GE.

В качестве коммутаторов доступа используем серию коммутаторов Cisco 3750 и 3750-10GE.

Основная магистраль СПД образована двумя магистральными маршрутизаторами Cisco 7609, которые соединены между собой двумя каналами. Эти каналы представляют собой каналы связи 10GE over DWDM и объединены по технологии EtherChannel.

Основные шаги по установке магистрального IP-оборудования:

- закуплены два маршрутизатора Cisco 7609 и установлены в Москве на Комсомольской пл. 3/10 и Петербурге на Боровой 57, и коммутаторы Catalyst3750-10G установлен на ММТС9 (MSK-IX);
- организован канал 10G между Комсомольской пл. 3/10 и ММТС9 (MSK-IX);
- подключены маршрутизаторы Cisco 7609 к платам L2SS и маршрутизаторам GSR12000 через интерфейсы GE, организованы каналы между мультиплексорами OME6500 в Москве и Санкт-Петербурге для пропуска IP-трафика, далее переключены маршрутизаторы доступа и коммутаторы в Москве и Петербурге к интерфейсам GE новых маршрутизаторов Cisco 7609;
- связаны маршрутизаторы Cisco 7609, установленные в Москве и Петербурге двумя каналами 10G, организованными непосредственно на DWDM оборудовании;

- закуплен маршрутизатор Cisco 7606 и установлен в Стокгольме, связан каналом 10G, организованным непосредственно на DWDM оборудовании, с маршрутизатором Cisco 7609 в Петербурге;
- организован стык 10G между маршрутизатором Cisco 7606 и Global Crossing в Стокгольме;
- закуплены коммутаторы Catalyst 3750-10G и Catalyst3750T-48 и установлены в Петербурге на Боровой 57 в комнате 304 (SPB-IX), где подключаются практически все клиенты. Организован стык 10G между маршрутизатором Cisco 7609 и коммутатором Catalyst 3750-10G.

Рассмотрим конфигурацию модульных устройств.

При размещении модулей применены правила, разработанные производителем оборудования, и учтены некоторые особенности архитектуры устройств (деление на независимые шины).

Применены модули, как правило, типа LX, которые могут обеспечить только связь на близкие расстояния (до 10 км), поскольку необходимы соединения только до DWDM транспортного оборудования, где через транспондеры сигнал преобразуется в одну из длин волн стандарта DWDM и мультиплексируется в магистральную оптическую сеть.

Модули типа ZX применяются только на уровне доступа для подключения удаленных клиентов (расстояния до 100 км).

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ SLA

4.1. Цели и средства проверки

SLA (Service Level Agreement) - соглашение об уровне услуги - перечень параметров качества, методов и средств их контроля, а также штрафные санкции за нарушение этого соглашения.

В соответствии с рекомендациями ITIL, SLA – это основной документ, регламентирующий взаимоотношения операторов связи и клиентов.

ITIL - это Библиотека Инфраструктуры Информационных Технологий. ITIL первоначально была набором примерно 60 книг, созданным в конце 1980-х ССТА (Central Communications and Telecom Agency) правительства Объединённого Королевства из совокупности передового опыта для ИТ. Для накопления передового опыта и обмена им создан форум ITSM Forum (www.itsmf.com) В настоящее время ITIL становится стандартом де-факто для ИТ.

Цель документа SLA – дать качественное и количественное описание сервисов, как с точки зрения провайдера, так и точки зрения клиента.

Соглашение об уровне сервиса (Service Level Agreement – SLA) определяет взаимные ответственности провайдера ИТ-сервиса и пользователей этого сервиса.

Типовая модель SLA должна включать следующие разделы:

- 1) Определение предоставляемого сервиса, стороны, вовлеченные в соглашение, и сроки действия соглашения.
- 2) Дни и часы, когда сервис будет предлагаться, включая тестирование, поддержку и модернизации.
- 3) Число и размещение пользователей и/или оборудования, использующих данный сервис.

- 4) Описание процедуры отчетов о проблемах, включая условия эскалации на следующий уровень. Должно быть включено время подготовки отчета.
- 5) Описание процедуры запросов на изменение. Может включаться ожидаемое время выполнения этой процедуры.
- 6) Спецификации целевых уровней качества сервиса, включая:
 - средняя доступность, выраженная как среднее число сбоев на период предоставления сервиса
 - минимальная доступность для каждого пользователя
 - среднее время отклика сервиса
 - максимальное время отклика для каждого пользователя
 - средняя пропускная способность
 - описания расчета приведенных выше метрик и частоты отчетов
- 7) Описание платежей, связанных с сервисом. Возможно как установление единой цены за весь сервис, так и с разбивкой по уровням сервиса.
- 8) Ответственности клиентов при использовании сервиса (подготовка, поддержка соответствующих конфигураций оборудования, программного обеспечения или изменения только в соответствии с процедурой изменения).
- 9) Процедура разрешения рассогласований, связанных с предоставлением сервиса.
- 10) Процесс улучшения SLA. В идеале, SLA определяется как особый сервис. Это позволяет сконфигурировать аппаратное и программное для максимизации способности удовлетворять SLA.

Современная методология измерений для паспортизации параметров качества проработана довольно детально и отражена в рекомендации IETF RFC 2544: «Методология эталонного тестирования для устройств, входящих в состав сети».

RFC-2544 обсуждает и определяет множество тестов, которые могут использоваться для определения производительности сетевых

устройств или сегментов сетей Ethernet/IP. Традиционным является тестирование на пропускную способность и задержки, поскольку это важнейшие эксплуатационные параметры.

Имеется анализатор SmartBits 600B с установленными модулями XLW-3720A (Модуль SmartMetrics 10 Gig Ethernet XENPAK, 1 порт, (2-slot)) и LAN-3325A (Карта 4 порта TM XD Gig, оптический и электрический интерфейсы).

Семейство анализаторов качества в сетях IP SmartBits является стандартом в области проведения контроля качества в пакетных сетях. Анализаторы семейства обеспечивают различные интерфейсы подключения, от простого 10/100/Gigabit до 10 Gigabit Ethernet, ATM, POS, Fibre Channel и Frame Relay. Анализаторы выполняют весь комплекс измерений в части контроля качества при передаче и приеме потоков IP. Для этого анализатор совмещает в себе функции трафикового генератора и анализатора параметров качества.

Трафиковый генератор SmartBits имеет высочайшую производительность - до 6 млн. потоков данных различной структуры. Этого достаточно для того, чтобы "залить" тестовым трафиком не только отдельные направления сети, но и отдельные сегменты при пусконаладке. За счет этого анализатор обеспечивает не только тестирование сети на взаимосвязь (Conformance), но и производительность ее при штатной и пиковой нагрузке (Performance). Небольшая модернизация ПО системы - и анализатор становится трафиковым генератором и анализаторов уровня приложений (уровни 4-7) и обеспечивает имитацию трафика до 5000 уникальных обращений на сайт в секунду! Это позволяет использовать его для контроля качества предоставления услуг в сети.

Анализатор имеет удобную архитектуру.

Всего имеются два типа шасси - SMB-600 и SMB-6000 различной производительности. Оба типа шасси поддерживают все типы тестовых модулей. При проведении измерений каждый модуль является независимым.

Программное обеспечение анализаторов SmartBits работает с отдельными модулями и обеспечивает широкое применение SmartBits в различных областях NGN: xDSL, cable modem, IPQoS, VoIP, MPLS, IP Multicast, TCP/IP, IPv6, MPLS, routing, SANs, and VPNs.

Анализаторы SmartBits удобны и в лаборатории и в полевых условиях, и для квалифицированных инженеров, и для новичков. В настоящее время это стандарт в области тестирования параметров качества в сетях IP в мире и в СНГ.

SMB-600 представляет собой портативный прибор для анализа качества мультисервисных сетей стандартов xDSL, модемная передача данных, IPQoS, VoIP, MPLS, IP Multicast, TCP/IP, IPv6, MPLS, routing, SANs, 10/100/Gigabit и 10 Gigabit Ethernet, ATM, POS, Fibre Channel и Frame Relay, VPN. Прибор предназначен для операторов, мобильных лабораторий анализа качества и системного анализа поведения сетей, а также для исследований в области современных систем передачи данных.

Основные функции прибора SMB-600B

- легкий портативный, обеспечивает использование до 2 измерительных модулей;
- емкость прибора позволяет его использовать для анализа до 16 портов 10/100 Base-T или 4 портов Gigabit Ethernet или 1 порта 10GbE или 2 портов SONET/SDH/POS или комбинации из перечисленных портов;
- стандартная поставка включает в себя три прикладных программы SmartWindow™, SmartLib™ и SmartApplications;
- подключается к ноутбуку по сетевому порту 10/100 Base-T, может удаленно управляться через технологическую сеть;
- поддержка измерительных карт.

4.2. План эксперимента

В данной работе остановимся на следующих характеристиках из SLA: пропускная способность при построении IP-сети поверх SDN, время задержки на магистральных линиях и коэффициент доступности.

Из методики RFC-2544 возьмем за основу измерения в режиме имитации, то есть с генерацией тестовой информации и ее приемом.

При генерации трафика используем принцип дихотомии, реализованный в измерительном приборе. Это позволит существенно сократить количество измерений, необходимых для оценки качества канала. Поток трафика сначала будем генерировать со скоростью 100% от транспортного канала, затем делением этого значения пополам произведем несколько итераций, цель которых в том, чтобы измерить максимальную пропускную способность с высокой точностью для заданного размера фреймов в генерируемом Ethernet трафике.

Будем производить несколько групп измерений – для различных размеров Ethernet-фреймов, поскольку этот параметр исходя из теоретического расчета является определяющим для пропускной способности инкапсулируемого IP-трафика.

Кроме того для измерения задержек воспользуемся уже имеющейся системой мониторинга, построенной на сервере Sun Solaris с помощью MRTG (Multi Router Traffic Grapher). MRTG – это утилита, написанная под UNIX-подобные операционные системы на Perl'e и создающая графики мониторинга пропускной способности и задержек в реальном времени. Она кроме визуального представления распределения задержки во времени показывает также максимальную, среднюю и текущую виды задержек по IP-каналу.

4.3. Результаты измерений

Подведем итог по измерению пропускной способности IP-сети поверх SDH-NGN.

Итоговые практические результаты измерения пропускной способности Ethernet трафика (который «течет» в IP-канале) с помощью анализатора SMB-600В сведены в итоговую Таблицу 4.1.

Таблица 4.1.

Результаты измерения пропускной способности L2SS

Frame Size	ILoad	Tx Frames	Tx fps	Tx rate, М	Tx rate STM1, М	Rx L2 bps
64	82,38	6129673	1225935	627,68	125,54	784598144
128	78,71	3323941	664788	680,74	136,15	765836006
256	77,07	1745251	349050	714,85	142,97	759533235
512	75,98	892581	178516	731,20	146,24	754052429
1024	75,43	451566	90313	739,84	147,97	751405824
1280	75,31	362079	72416	741,54	148,31	750807014
1518	75,23	305731	61146	742,56	148,51	750386166

График зависимости пропускной способности Ethernet трафика через SDH-NGN с помощью коммутатора L2SS приведен на рис. П6.1 в Приложении 6.

Задержки по всем основным направлениям круглосуточно ежеминутно снимаются специальным сервером мониторинга на базе ОС Sun Solaris и отображаются на графиках. См. рис 4.1 – 4.3.

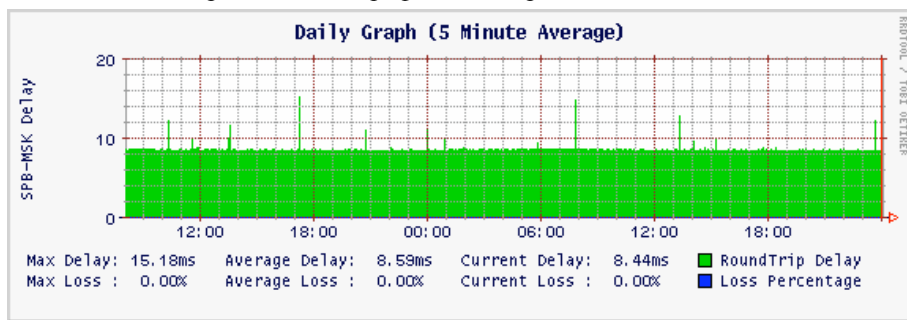


Рис. 4.1. График задержки на магистрали СПб-Москва

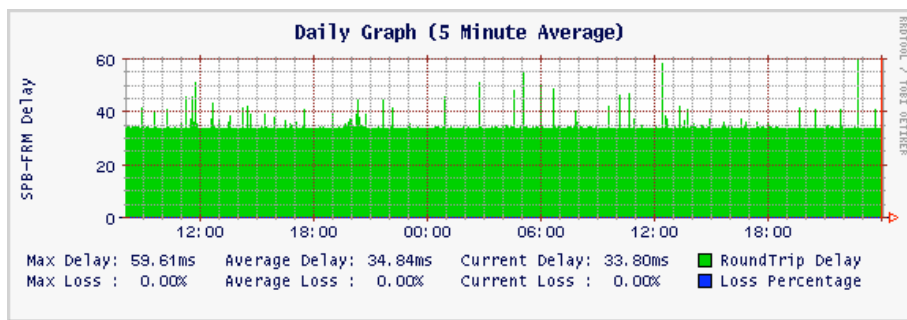


Рис. 4.2. График задержки на магистрали СПб-Франкфурт

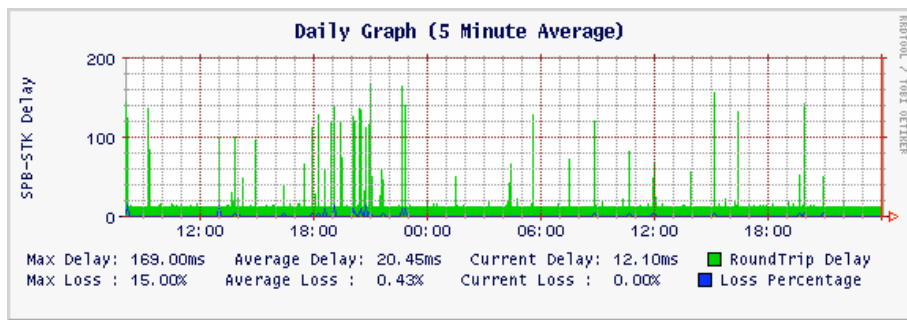


Рис. 4.3. График задержки на магистрали СПб-Стокгольм

На графике задержки, приведенном на рис. 4.3, видно большое число выбросов с большими задержками и даже потери тестовых пакетов. Это объясняется тем, что тестируемый канал заканчивается маршрутизатором, не принадлежащим ЗАО «Раском» (это оборудование международного оператора, к которому осуществлено подключение по данному каналу). Данный маршрутизатор сконфигурирован таким образом, чтобы icmp-эхо ответы считаются низкоприоритетным видом трафика и в моменты загруженности процессора маршрутизатора, он может не отвечать вообще на такие запросы или отвечать с большими задержками. Однако, это не мешает выделить на графике ту среднюю задержку, которая нам важна для анализа качества канала. Она видна как Current Delay (текущая задержка).

Сравнение расчетных и полученных задержек приведено в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

Сравнение расчетных и полученных задержек между узлами

	км	расчет ная, мс	получе нная, мс	delta, мс	%
Москва «Раском» — Санкт-Петербург «Раском» — 685 км 10GE DWDM;	685	7,9	7,8	0,1	1,3
Санкт-Петербург «Раском» — Франкфурт «Ancotel» — 530 + 520 + 1897 км 10GE DWDM и STM-64 SDH-NGN.	2947	34,3	33,8	0,5	1,5
Санкт-Петербург «Раском» — Стокгольм «MCI» — 530 + 520 + 5 км 10GE DWDM и STM-64 NGN	1055	12,3	12,1	0,2	1,6

В столбце «полученная» приведена общая измеренная задержка, в которую входит наряду с задержкой в волокне еще и время генерации, обработки и ответа на іспр-эхо пакет, а также схемные задержки узлового оборудования и оборудования сопряжения IP, DWDM, NGSDH (хоть они и являются весьма малыми величинами порядка микросекунд, но суммарно вносят свое влияние в общую задержку).

4.4. Анализ результатов

Как показали теоретические выкладки (см. раздел 2.3), пропускная способность Ethernet-трафика поверх VC-4 канала отличается от базового значения пропускной способности VC-4 149.76 Мбит/с в меньшую сторону из-за накладных служебных расходов – заголовка кадров протокола GFP-F.

Причем это различие тем больше, чем меньше размер инкапсулируемого кадра Ethernet, что приводит к менее эффективному использованию канальной емкости.

При выполнении измерений были получены еще меньшие скорости передачи по каналу, но с той же тенденцией.

Для размеров кадров Ethernet 64, 128, 256, 512 расхождение измерений с теоретическими выкладками составило от 1.5 до 11%, что объясняется, скорее всего, неучтенными в выкладках доп. служебными расходами протокола GFP-F.

Для размеров кадров Ethernet 1024, 1280, 1518 расхождение измерений с теоретическими выкладками составило от 0,5 до 0,8%, что говорит о справедливости результатов измерений и расчетов.

В качестве вывода к данному измерению, если включение производится по технологии Ethernet, инкапсулируемой через транспортную сеть, то канал STM-1 в транспортной сети (контейнер VC-4) следует считать эквивалентным гарантированной пропускной способности 125,54 Мбит/с с максимальной пропускной способностью 148,51 Мбит/с.

Таким образом гарантированная полоса пропускания IP-трафика с данным методом инкапсуляции будет составлять только 84% от суммарной емкости выделенных транспортных виртуальных контейнеров.

Максимальная полоса пропускания составит 99% от суммарной емкости выделенных транспортных виртуальных контейнеров.

Полученные выводы важно учесть при определении характеристик выделенных каналов, предоставляемых клиентам.

Полученные экспериментально фактические средние задержки по основным магистральным каналам связи полностью удовлетворяют заданным в техническом задании границам. Более того, задержки получились лучше, чем требовалось обеспечить. Улучшение этого показателя по различным линиям связи составило от 1,3 до 1,6%.

4.5. Расчет коэффициента готовности

Наиболее универсальной количественной характеристикой надежности системы связи является коэффициент готовности. Обычно именно он указывается в SLA и его превышение является критерием выплаты оператором штрафных санкций клиенту. В соответствии с определением, K_{Γ} – это вероятность того, что система работоспособна в произвольно выбранный момент времени

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + t_{\epsilon}}, \quad (1)$$

где T_0 – средняя наработка на отказ, т.е. среднее время между отказами, а t_{ϵ} – среднее время восстановления работоспособного состояния. В практике связи часто коэффициент готовности исчисляется за год, как отношение времени работоспособности системы в часах к общему суммарному времени работы системы за год, обычно 8760 часов при круглосуточной работе по схеме 24x365

$$K_{\Gamma} = \frac{8760 - t_{np}}{8760}. \quad (2)$$

Естественно, что коэффициент готовности отдельных компонентов и всей сети связи в целом взаимосвязаны. Если клиента волнует надежность связи в целом, то оператор должен четко представлять, как на результирующий коэффициент готовности влияет надежность работы всех задействованных компонентов сети связи. Как показывает практика, аварии на линейно-кабельных сооружениях оказывают наиболее существенное влияние на коэффициент готовности и составляют до 95% длительности всех аварийных перерывов связи.

Основными причинами повреждения подземных кабельных линий связи являются следующие:

- механические повреждения оптического кабеля (ОК) при проведении строительно-монтажных работ сторонними организациями в пределах охранных зон кабельной линии;
- механические повреждения ОК от перемещения грунтов (обвалы, пучения, оползни, селевые потоки и т.д.), как правило, в пределах одной-двух строительных длин оптического кабеля;
- повреждение ОК за счет старения или попадания в сердечник кабеля влаги;
- повреждение кабелей от грозового воздействия (при наличии металлических элементов в конструкции ОК);
- повреждения ОК от воздействия грызунов, пожаров и т.п.

Несколько иные причины вызывают аварии ОК с воздушной подвеской на линиях электропередач:

- механические повреждения ОК с обрывом или деформацией оптических волокон, не связанные с повреждением элементов несущих конструкций (падение деревьев, прострелы и т.п.);
- деформация элементов опоры, вызвавшая обрыв ОК;
- падение опоры (опор), вызвавшее обрыв ОК;
- повреждения оптических волокон в результате пожара;
- повреждение оптических волокон из-за влияния электромагнитного поля.

Для всех перечисленных причин вероятность отказа прямо пропорциональна длине оптической кабельной линии, поэтому для характеристики её надежности используются показатели, нормированные к длине. К таким показателям относятся:

плотность отказов гипотетической короткой линии m , которая определяет среднее количество отказов в год на линии длиной 100 км;

средняя наработка между отказами на короткой линии l длиной 100 км с однородными условиями эксплуатации T_l (час).

С учетом введенных параметров можно определить коэффициент готовности короткой оптической кабельной линии $K_{ГЛ}$, вычисляемых по значениям плотности отказов m в соответствии с выражением:

$$K_{ГЛ} = \frac{8760 - m \cdot t_{\epsilon}}{8760}, \quad (3)$$

тогда

$$T_l = \frac{K_{ГЛ} \cdot t_{\epsilon}}{1 - K_{ГЛ}}, \quad (4)$$

или с учетом плотности отказов

$$T_l = \frac{8760 - m \cdot t_{\epsilon}}{m}, \quad (5)$$

Часто используются также показатели надежности гипотетической длинной линии (например, длиной $L = 13900$ км): средняя наработка между отказами T_L (час) и коэффициент готовности длиной линии, $K_{ГЛ}$, который вычисляется по формуле

$$K_{ГЛ} = \frac{T_L}{T_L + t_{\epsilon}}. \quad (6)$$

Международный стандарт G.602 характеризует готовность канала оптической линии связи, приводя его к готовности эталонной гипотетической системы передачи с длиной оптического кабеля 2500 км в одном направлении (с учетом возможности резервирования). При этом коэффициент готовности должен быть не менее 0,996. Для российских линий связи рекомендуется пересчитывать коэффициент готовности к национальной гипотетической линии длиной 13900 км [3]. Коэффициент готовности такой линии должен быть не менее 0,98 (без резервирования),

что при пересчете соответствует международным нормам. Таким образом, для цифрового канала протяженностью 13900 км (без резервирования) заданы следующие показатели надежности по отказам [3]

- коэффициент готовности – не менее 0,98;
- среднее время между отказами – не менее 255 ч;
- среднее время восстановления – не более 5,2 ч.

Учитывая высокую надежность современного оборудования цифровых систем передачи и IP-сетей, принятое значение коэффициента готовности линейно-кабельных сооружений равно 0,985, а оборудования систем передачи – 0,995. Таким образом, при расчете коэффициента готовности основное внимание далее будет уделяться характеристикам надежности линейно-кабельных сооружений.

Для обеспечения заданного коэффициента готовности на подземных кабельных линиях должны обеспечивать следующие показатели:

- среднее время между отказами – не менее 340,5 ч;
- среднее время восстановления – не более 5,2 ч;
- плотность повреждений – не более 0,1823.

Для обеспечения такого же коэффициента готовности (0,985) гипотетического канала связи протяженностью 13900 км показатели надежности ОК, проложенного по воздушным линиям электропередачи, должна иметь следующие значения:

- наработка между отказами – не менее 670 ч;
- среднее время восстановления – не более 10 ч;
- плотность отказов – не более 0,094.

Исходя из приведенных выше данных, можно рассчитать предельные коэффициенты готовности, наработки на отказ и суммарного времени восстановления для наиболее важных участков магистральной сети связи ЗАО "Раском" в предположении, что они являются частями гипотетического канала связи протяженностью 13900 км.

Сначала необходимо определить нормированный коэффициент готовности для линии длиной 100 км. В соответствии с выражением (1). Он будет одинаковым для линий, построенных с использованием воздушной подвески или подземной прокладки ОК.

$$K_{\Gamma} = \frac{8760 - 0,1823 \cdot 5,2}{8760} = \frac{8760 - 0,094 \cdot 10}{8760} = 0,99989.$$

Далее, предполагаем, что возникновение аварий на отдельных 100 км участках является статистически независимыми случаями, появляющиеся с вероятностью K_{Γ} . Тогда вероятность возникновения аварии на линии длиной L можно будет определить по формуле:

$$K_{\Gamma L} = (K_{\Gamma})^{L/100}. \quad (7)$$

Зная $K_{\Gamma L}$, можно определить и другие характеристики надежности линии по формулам (2) и (6). Результаты расчета сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3.

Предельно допустимые значения коэффициента готовности и времени простоя для наиболее важных участков магистральной сети ЗАО "Раском".

Участок	Кабель	Длина участка	K_{GL}	t_{np} (час)
Москва – С.-Петербург	Воздушный	685 км	0,99925	6,6
С.-Петербург – Госграница	Воздушный	170 км	0,99981	1,67
Госграница – Стокгольм	Подземный	880 км	0,99903	8,5
Стокгольм – Франкфурт	Подземный	1897 км	0,99792	18,2

Ориентируясь на данные, приведенные в Таблице 4.3, можно определить нижнюю границу коэффициента готовности и максимальное время простоя линии для проведения аварийно-восстановительных работ (максимальное суммарное время восстановления в год) для наиболее важных участков магистральной сети ЗАО "Раском". Результирующий коэффициент готовности для канала, проложенного через несколько участков, определяется произведением коэффициентов готовности этих участков. Исходя из результирующего коэффициента готовности, можно определить максимально время простоя канала в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе реализации данного проекта удалось совместить ряд существующих технологий и методов построения современных транспортных IP-сетей дальней связи для реализации поставленных технических задач. Были разработаны схемы, определяющие архитектуру модернизированной сети. Для внедрения данного проекта был выработан метод, позволяющий совместить ряд технологий в одну систему и произвести изменения поэтапно.

По результатам реализации проекта может быть сделан ряд выводов.

Способов построения инфраструктуры магистральных IP-сетей достаточно много. Однако при ближайшем рассмотрении все-таки получается ограниченный набор возможных решений. Весьма важным фактором становится расстояние, на котором нужно обеспечить работу сети по определенным протоколам и на определенной скорости передачи.

Достоинствами магистральных сетевых решений, базирующихся на технологии Ethernet, являются простота использования (за счет стандартизации, широкого распространения и массового знакомства с интерфейсом Ethernet), рентабельность (невысокая стоимость устройств Ethernet благодаря широкому промышленному выпуску) и гибкость (как способность управления полосой пропускания и качеством обслуживания).

Для клиента, пользующегося услугами класса VLAN, магистральная сеть видится обычным коммутатором второго уровня (с географически удаленными портами), а транспорт кадров Ethernet в магистральной транспортной сети может выполнять любая из технологий региональных сетей (SDH, DWDM, MPLS, GPF, а также IP).

Важной особенностью предоставления услуг с точки зрения крупного оператора связи является обязательная выработка SLA, а также постоянный контроль характеристик и параметров сети связи.

Наиболее перспективным направлением развития магистральных сетей дальней связи мне видится использование DWDM-технологий

класса CPL, позволяющих в настоящее время строить на имеющейся кабельной инфраструктуре каналы емкостью до 72 длин волн, несущих по 40 Gigabit. Также важно строить сети ядра операторов на базе технологии Ethernet (с проключением по DWDM), предназначенной изначально для передачи разнородных видов трафика и в последнее время дорастающей по стандартизации до уровня обеспечения абсолютно всех требований операторов дальней связи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аппаратура волоконно-оптической системы передачи со спектральным разделением: Технические требования. – М.: МС РФ, 2002. – 32 с.
2. Астапкович К.Ф., Киреев В.И., Томсон С.Г. Развитие сети ВОЛС "Раском" на основе передовых информационных технологий // Автоматика, связь, информатика, 1999, № 3.- 39-40 с.
3. Астапкович К.Ф., Ларионов С.Г., Сохранский С.С., Томсон С.Г. От STM-1 к STM-16. Опыт развития синхронной волоконно-оптической сети связи "Раском".- Настоящее и будущее телекоммуникаций региона. // Сб. докладов конференции NORWECOM-97.- СПб.: ГП "Дальняя связь".- 1997.- 153-165 с.
4. Афонцев Э.А. Статья. Как построить Metro Ethernet» <http://www.nag.ru/2005/0510/0510.shtml>
5. Бакланов И.Г. SDH → NGSDH: практический взгляд на развитие транспортных сетей. – М.: Метротек, 2006. – (Системы эксплуатации связи). – 736 с.
6. Вербовецкий А.А. Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи.- М.: Радио и связь, 2000.- 160 с.
7. Глухов В.В. Правила оформления студенческих выпускных работ и отчетов. - Санкт-Петербург: Издательство СПбГТУ, 2000. – 21 с.
8. Жирар А. Технология и тестирование систем WDM.- М.: EXFO, 2001.- 264 с.

9. Лихачёв Н.А. Ethernet в городских сетях. - <http://www.connect.ru/article.asp?id=6208>

10. Связь и информатизация России–2002 // ИнформКурьер-Связь, 2003, №4. – 13-14 с.

11. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH.- М.: АОЗТ "Эко-Трендз Ко", 1997.- 148 с.

12. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи.- М.: Радио и связь, 2000.- 468 с.

13. IEEE Std 802.3ae-2002. AMENDMENT TO IEEE Std 802.3. «Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 1: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation». – 529 с.

14. ITU-T Rec. G.692. Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers (10.98).

15. ITU-T Rec. G.707. Network node interface for synchronous digital hierarchy (SDH) (3.96).

16. ITU-T Rec. G.957. Optical interface for equipments and system relating synchronous digital hierarchy (SDH) (7.95).

17. LIGHTWAVE Russian Edition №4 2005. Комарницкий Э.И. Надежность работы волоконно-оптических сетей связи и оперативное устранение аварий.

18. LIGHTWAVE Russian Edition №2 2006. Гасымов И.А. Перспективы использования технологии Ethernet в опорных сетях операторов связи.

19. LIGHTWAVE Russian Edition №2 2007. Шмидтке Г.Ю. Гиббермейер А.А. Коммутация Ethernet второго уровня на основе DWDM.

20. NAG.RU. Как построить Metro Ethernet. Статья. - <http://www.nag.ru/2005/0510/0510.shtml>

21. Nortel Optical Metro Platform 6500. Статья. - http://www.beltel.ru/article_685.html

22. S/DMS Transport Node and OPTera LH: 100 GHz, MOR/MOR Plus, 2 to 16-λ Optical Layer Application Guide. – Nortel Networks, 2000. – 216 с.

23. S/DMS Transport Node and OPTera LH: 200 GHz, MOR/MOR Plus, 2 to 16-λ Optical Layer Application Guide. – Nortel Networks, 2000. – 286 с.

24. http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns524/ns610/net_i mplementation_white_paper0900aecd804e8e32.pdf

Схема первого этапа модернизации транспортной сети

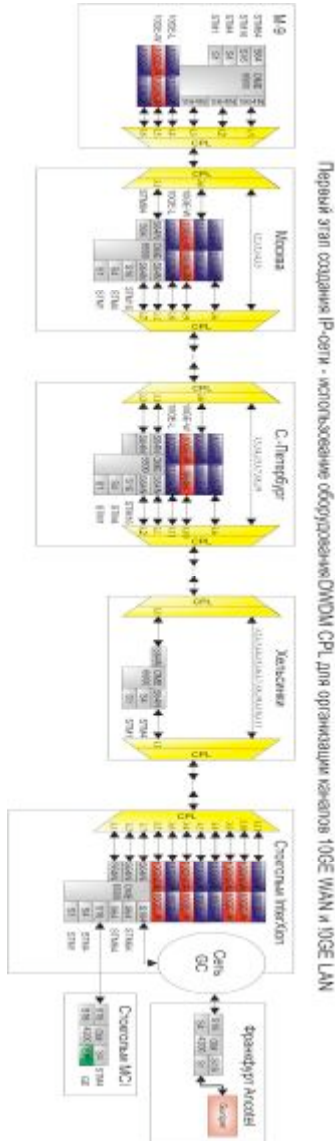


Рис. П1.1. Схема первого этапа модернизации транспортной сети.

Схема второго этапа модернизации транспортной сети

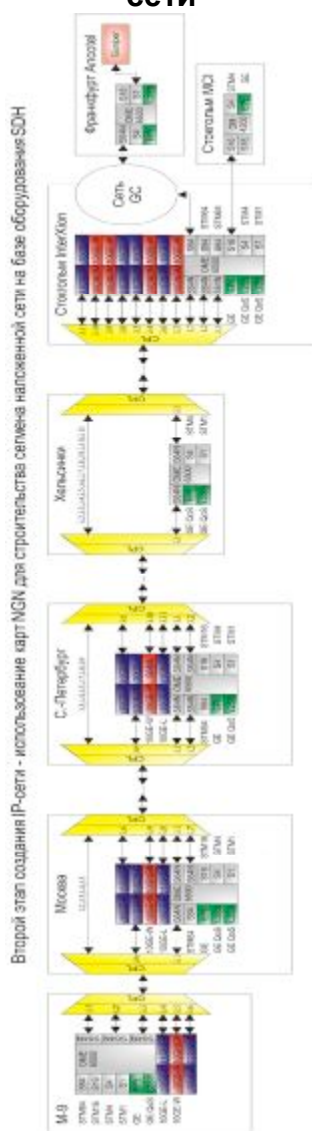


Рис. П2.1. Схема второго этапа модернизации транспортной сети

Схема третьего этапа модернизации транспортной сети

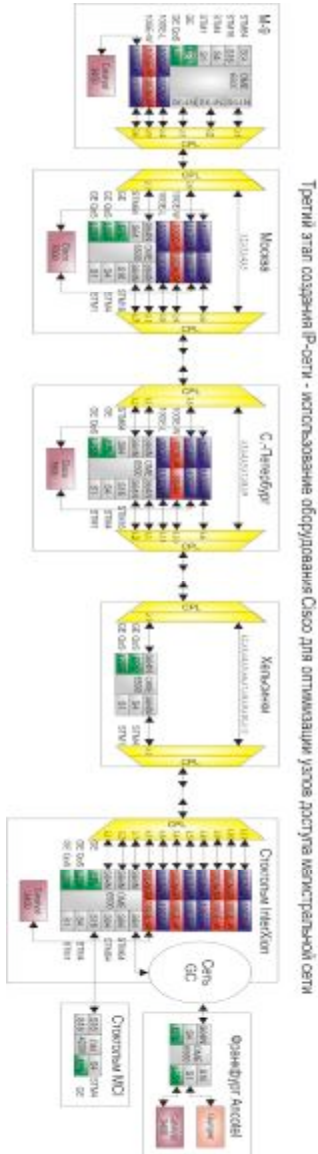


Рис. П3.1. Схема третьего этапа модернизации транспортной сети

Схема IP-сети до модернизации

Схема физических соединений узлов опорной IP-сети до модернизации

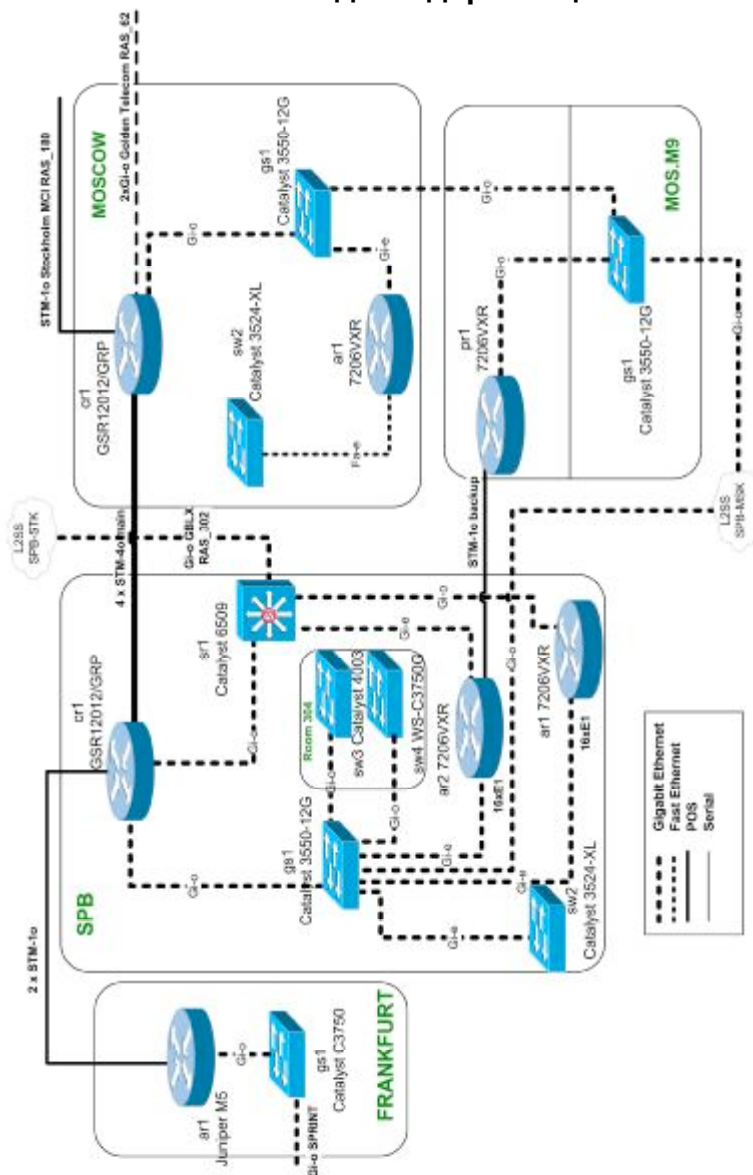


Рис. П4.1. Схема IP-сети до модернизации

Схема IP-сети после модернизации

Схема физических соединений узлов опорной IP-Сети после модернизации

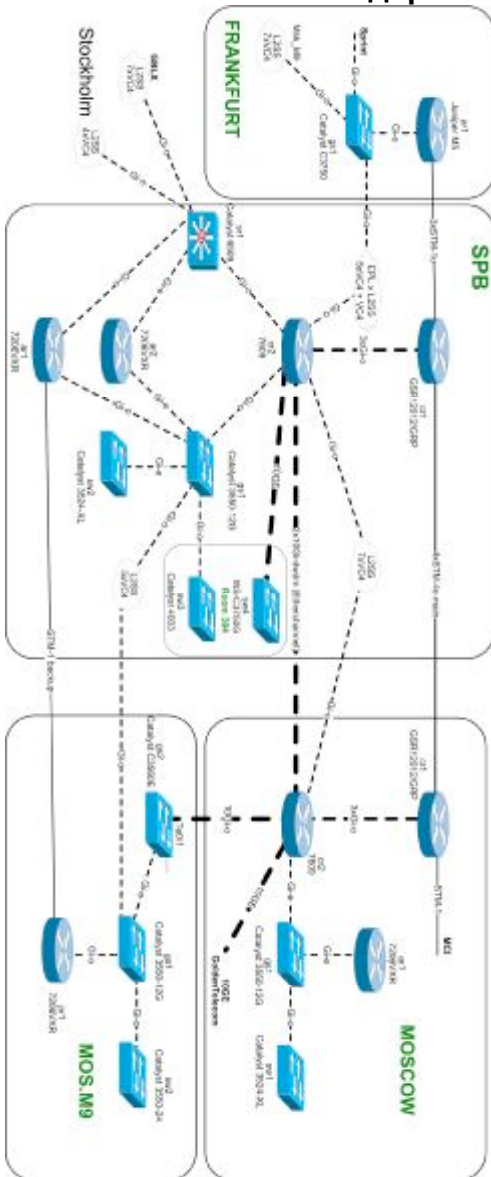


Рис. П5.1. Схема IP-сети после модернизации

График пропускной способности Ethernet трафика
поверх SDH-NGN с помощью коммутатора L2SS

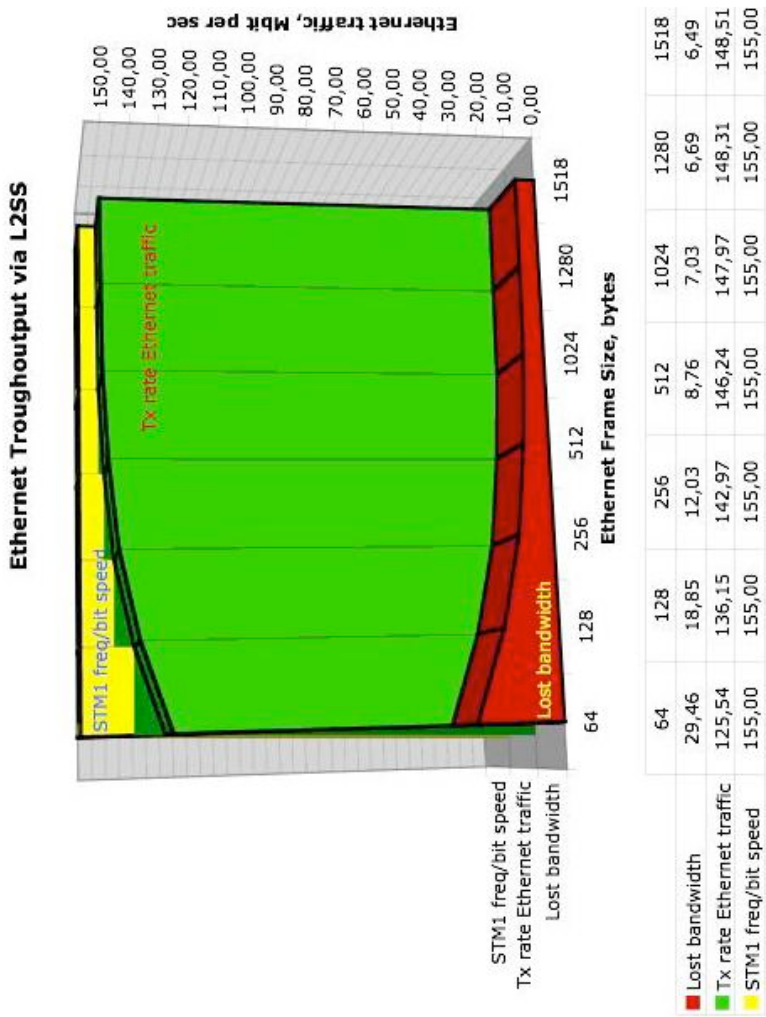


Рис. П6.1. График пропускной способности Ethernet трафика поверх SDH-NGN с помощью коммутатора L2SS