

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

к.т.н., Шагиахметов Д.Р.

(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)

« _____ » _____ 2014 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

на тему: Исследование эффективности технологии DWDM на базе сети
NGN

Магистрант Алипбаева Ә.Б. _____ группа НПм-12-01
(Ф.И.О.) (подпись)

Руководитель к.т.н., профессор _____ Казиева Г.С.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент _____ _____
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.х.н., ст.преп. _____ Данько Е.Т.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Нормоконтроль к.х.н., ст.преп. _____ Кудинова В.С.
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы, 2014

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет «Радиотехники, электроники и связи»
Специальность 6М071900 «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»
Кафедра «Телекоммуникационных систем»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Алипбаевой Э.Б.
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Исследование эффективности технологии DWDM на базе сети NGN»

утверждена Ученым советом университета № 142 от « 31 » 10 13.

Срок сдачи законченной диссертации « 20 » 05 2014 г.

Цель исследования состоит в оценка влияния изменения архитектуры транспортной сети DWDM на качественные показатели сети оператора сотовой связи.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Информационный анализ интеграции DWDM в сетях NGN
2. Особенности современной технологии DWDM
- 3 Модель взаимодействия транспортных технологий
4. Расчет основных характеристик ВОЛС
5. Составляющие компоненты алгоритма перехода соединения между BSC и MSC

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- Рисунок 1.1 - Топология сети NGN
- Рисунок 1.2 - Принцип построения транспортной сети
- Рисунок 1.4 - Двухуровневая архитектура на основе мукспондера
- Рисунок 2.1 - Схема прохождения LSL
- Рисунок 2.2 - Схема прохождения HSL
- График 2.8 – Рассчитанный показатель CunSR для всех случаев

Рекомендуемая основная литература

1. Убайдоллаев Р.Р. Волоконно- оптические сети. - М.: ЭКО ТРЕНДЗ, 2001.
2. Слепов Н. Оптическое мультиплексирование с разделением по длине волны <http://www.osp.ru/nets/1999/04/144015/> p1.html

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Концепция развития NGN	10.01.2013	
2 Модель взаимодействия транспортных технологий	15.09.2013	
3 Особенности современной технологии DWDM	09.01.2014	
4 Информационный анализ интеграции DWDM в сетях NGN	05.02.2014	
5 Расчет основных характеристик ВОЛС	23.04.2014	
6 Составляющие компоненты алгоритма перехода соединения между BSC и MSC	03.05.2014	

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (Коньшин С.В.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Казиева Г.С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (Алипбаева Э.Б.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Осы магистрлік диссертацияда оптикалық талшық байланыс желісіне негізделген DWDM технологиясының NGN жүйесінде жұмыс істеу сапасы туралы зерттеу мәселелері қарастырылды. Сонымен бірге DWDM технологиясына негізделген транспорттық жүйенің архитектурасын өзгерткен кездегі мобильдік байланыстың сапа көрсеткішіне әсері бағаланды. Түрлі жағдайларда жіберілетін ақпараттардың сапасың эксперименталды зерттеуі көрсетілді

Аннотация

В данной магистрской работе рассматривается ряд вопросов связанных с научным исследованием эффективности технологии DWDM на базе сети NGN. Проведена оценка влияния изменения архитектуры транспортной сети DWDM на качественные показатели сети оператора сотовой связи. Представлен аналитический основных качественных показателей сети. Показаны экспериментальные исследования по качеству передаваемой информации при различных параметрах передачи.

Annotation

In this research work the row of questions is examined related to scientific research of efficiency of technology of DWDM on the base of network of NGN. An estimation is conducted of influence of change of architecture of a transport network of DWDM on the quality indexes of network of operator of cellular. The analytical is presented basic quality indexes of network. Experimental researches are shown in quality of transferrable information at the different parameters of transmission.

Содержание

Введение	6
1 Информационный анализ инженерных решений и научных исследований по работе DWDM в NGN	7
1.1 Интеграция DWDM в сетях NGN	8
1.2 Технология DWDM	9
1.3 Принципы планирования цифровых сетей поверх существующих сетей	10
1.4 Особенности современной технологии DWDM	12
1.5. Модель взаимодействия транспортных технологий	13
2 Экспериментальная часть	29
2.1 Составляющие компоненты алгоритма перехода соединения между BSC и MSC	29
3 Инженерный расчет	41
3.1 Оптические волокна для ВОСП-WDM	41
3.2 Параметры и характеристики	41
3.3 Полоса пропускания	42
3.4 Полоса пропускная и скорость передачи	43
3.5 Волокна для компенсации дисперсии	44
3.6 Принципы организации ВОСП	46
3.7 Индивидуальные выходы - интерфейсы S1 – SN	51
3.8 Индивидуальные входные порты каналов RMN	53
3.9 Определения и терминология	53
3.10 Размещение усилителей	54
3.11 Расчет отношения сигнал/помеха	58
Заключение	63
Список литературы	64
Приложение А Листинг программы MathCad	65

Введение

Концепция сетей связи следующего поколения NGN (Next Generation Network), регламентированная в рекомендациях Сектора Стандартизации телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т), предоставляет оператору возможность организации на сети неограниченного числа услуг. Такая характеристика NGN с одной стороны чрезвычайно привлекательна для операторов и пользователей, а с другой стороны требует нового подхода к внедрению и эксплуатации NGN и ее фрагментов.

В последнее время общепризнанным является тот факт, что особое внимание следует уделять эффективному внедрению без больших затрат нового оборудования, путем модернизации существующего. Задачи расширения существующего оборудования в NGN породили даже новую стратегическую проблему, так называемую глобальную совместимость, под которой понимается совместимость технических средств, услуг, классов и параметров качества обслуживания.

С крупномасштабным развертыванием сетей передачи данных происходит модификация самой архитектуры сетей. Именно поэтому требуются фундаментальные изменения в принципах проектирования, контроля и управления сетями. В основе нового поколения сетевых технологий лежат многоволновые оптические сети, базирующиеся на плотном волновом мультиплексировании DWDM (dense wavelength-division multiplexing).

Плотное волновое мультиплексирование DWDM (dense wavelength-division multiplexing) - это современная технология передачи большого числа оптических каналов по одному волокну, которая лежит в основе нового поколения сетевых технологий.

Цель данной исследовательской работы - оценка влияния изменения архитектуры транспортной сети DWDM на качественные показатели сети оператора сотовой связи. Для достижения данной цели в работе необходимо сделать следующее:

- провести информационный анализ инженерных решений и научных исследований по работе DWDM в NGN;
- провести обзор основных параметров технологий DWDM;
- произвести расчет и экспериментальную оценку параметров качества работы DWDM в сети оператора сотовой связи.

1Глава Информационный анализ инженерных решений и научных исследований по работе технологии DWDM в NGN

Концепция сетей связи следующего поколения NGN (Next Generation Network), регламентированная в рекомендациях Сектора Стандартизации телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи (МСЭ-Т), предоставляет оператору возможность организации на сети неограниченного числа услуг. Такая характеристика NGN с одной стороны чрезвычайно привлекательна для операторов и пользователей, а с другой стороны требует нового подхода к внедрению и эксплуатации NGN и ее фрагментов. В последнее время общепризнанным является тот факт, что особое внимание следует уделять эффективному внедрению без больших затрат нового оборудования, путем модернизации существующего. Задачи расширения существующего оборудования в NGN породили даже новую стратегическую проблему, так называемую глобальную совместимость, под которой понимается совместимость технических средств, услуг, классов и параметров качества обслуживания.

Системным вопросам построения NGN посвящены работы Б.С.Гольдштейна, А.Е. Кучерявого, Н.А.Соколова, Г.Г.Яновского, А.Б. Васильева, А.Л. Цуприкова, Л.З. Гильченка и др. В достаточной степени на сегодняшний день развита теория и практика тестирования технических средств NGN.

В концепции NGN необходимостью считается одновременная поддержка нескольких поколений и технологий связи. Необходимо гарантировать передачу голосового трафика 2G и 3G, а также обеспечить интенсивную передачу данных для новых приложений и доступа в Интернет с требуемым качеством обслуживания [1].

Дополнительно развивая новую архитектуру сети операторы стремятся обеспечить:

- простоту, означающую снижение капитальных и эксплуатационных затрат;
- соответствие ожиданиям пользователей в терминах полосы и QoS (Quality of Service);
- архитектурную гибкость и инвестиционную защищенность.

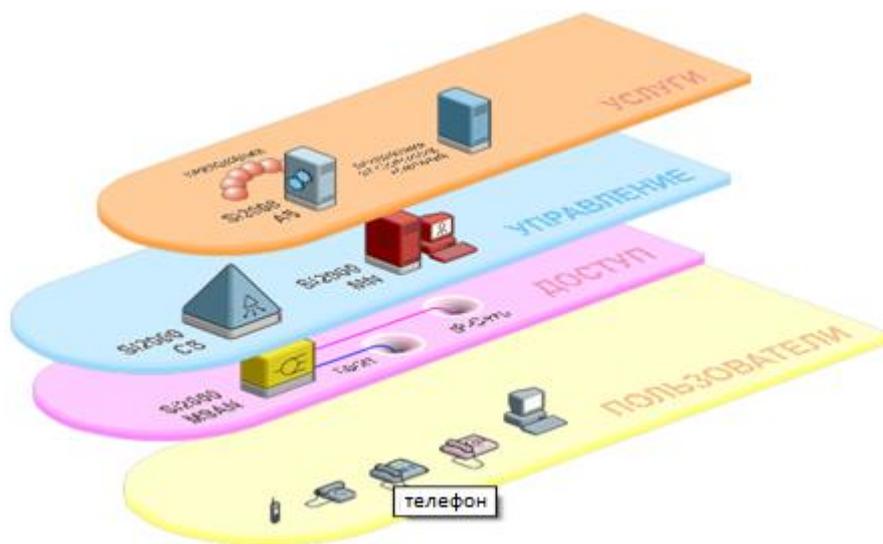


Рисунок 1.1 Топология сети NGN

Какими бы ни были выбранные для построения сети доступа технология и оборудование на ее основе, они должны обеспечить возможность постоянного роста пропускной способности абонентских каналов и расширение перечня предлагаемых услуг, а также повышение пропускной способности существующих сетей доступа к высокопроизводительным транспортным сетям.

До недавнего времени технической основой для построения транспортной сети являлись телекоммуникационные системы передачи цифровой иерархии (SDH - Synchronous Digital Hierarchy). Интенсивный путь развития данной технологии практически подошел к своему концу, остановившись на скорости 40 Гбит/с, что объясняется наличием дисперсии в стандартном оптоволокне, на котором построены большинство сетей. Существенно увеличить пропускную способность призвана технология мультиплексирования по длине волны (WDM - Wavelength Division Multiplexing), за счет расширения ширины полосы передачи путем увеличения числа каналов.

1.1 Интеграция DWDM в сетях NGN

Современные мультисервисные сети в качестве базового протокола канального уровня используют Ethernet, обеспечивающий необходимый рост емкости операторской сети, включая новое поколение услуг для бизнеса и частных лиц. IP - основа коммуникационных служб нового поколения.

Применение xWDM в сети оператора в первую очередь диктуется дефицитом оптического волокна. Темпы роста объемов передаваемой информации приводят к быстрому снижению запасов «свободного» (темного) волокна. В некоторых случаях, в частности, в городах, многие существующие кабельные каналы полностью заполнены и физическое увеличение емкости

оптического волокна практически невозможно. Быстрое внедрение новых телекоммуникационных сервисов возможно только за счет увеличения емкостей виртуального волокна, т.е. использования систем спектрального уплотнения (CWDM или DWDM) [2].

Но кроме этой существуют и другие причины использования в основе мультисервисной сети WDM.

Во-первых, это необходимость передачи сигнала 10 Gigabit Ethernet на большие расстояния (порядка 100 и более км), так как дальность современных широкополосных XFP трансиверов ограничена из-за хроматической дисперсии.

Во-вторых, применение WDM позволяет использовать функции быстрого восстановления на уровне оптической, а не пакетной IP/Ethernet сети.

В-третьих, появляется возможность реализации произвольной топологии мультисервисной сети поверх существующей. Например, организация топологии звезда между Ethernet коммутаторами поверх WDM кольца [2].

Еще одна возможность, предоставляемая WDM - простота и скорость наращивания емкости сети в будущем.

Также не будем забывать, что наследуемые услуги и наследуемая транспортная инфраструктура (как правило, TDM транспорт на основе SDH) никуда в одночасье не исчезнет, и будет сосуществовать с развивающейся инфраструктурой Ethernet/IP еще долгое время.

DWDM, в данном случае, - основа для интеграции, наследованной и новой транспортной инфраструктур.

Критерии оценки DWDM систем при ее выборе оператором - простота, гибкость, надежность и цена (которая приобретает особую актуальность сейчас во времена экономических трудностей).

1.2. Технология DWDM

В прошлом проектирование телекоммуникационных сетей с экономической точки зрения в основном диктовалось необходимостью передачи голоса. С крупномасштабным развертыванием сетей передачи данных происходит модификация самой архитектуры сетей. Именно поэтому требуются фундаментальные изменения в принципах проектирования, контроля и управления сетями. В основе нового поколения сетевых технологий лежат многоволновые оптические сети, базирующиеся на плотном волновом мультиплексировании DWDM (dense wavelength-division multiplexing).

Плотное волновое мультиплексирование DWDM (dense wavelength-division multiplexing) - это современная технология передачи большого числа оптических каналов по одному волокну, которая лежит в основе нового поколения сетевых технологий [3].

Для агрегации и надежной, эффективной передачи любых типов трафика различных широкополосных сервисов транспортные сети должны обеспечивать необходимую пропускную способность и масштабируемость сетевой инфраструктуры. Эти требования особенно актуальны для транспортных сетей масштаба города (Metro-сетей).

В городских транспортных сетях широко используется технология DWDM. Построенные на базе этой технологии транспортные сети отличаются целым рядом достоинств:

- поддерживают различные сетевые топологии;
- имеют большую масштабируемость в сравнении с решениями на базе других технологий (например, SDH);
- поддерживают различные типы клиентских интерфейсов и сервисов;
- допускают применение различных схем резервирования;
- эффективно используют пропускную способность системы за счет агрегации низкоскоростных клиентских сигналов в рамках одного спектрального канала;
- поддерживают функциональность ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) [3].

1.3. Принципы планирования цифровых сетей поверх существующих сетей

При планировании современных цифровых сетей следует различать три сетевых уровня: уровень первичной сети, уровень вторичных сетей и уровень систем или служб электросвязи. Основой любой реальной сети связи является уровень неспециализированной (универсальной) первичной сети, представляющей собой совокупность узлов и соединяющих их линий передачи. Таким образом, первичная сеть - это базовая сеть типовых универсальных каналов передачи и сетевых трактов, на основе которой формируются и создаются вторичные сети [4].

Первичные сети, являющиеся базовыми транспортными или магистральными сетями, как это уже отмечалось выше, служат основой для построения всего многообразия современных мультисервисных сетей связи.

Главным требованием, предъявляемым к транспортным сетям, является выполнение сетью основной функции - обеспечения пользователям возможности доступа ко всем разделяемым ресурсам сети.

Основные информационно-технические характеристики ЦПС, которые существенно определяют ее возможности по предоставлению гарантированного качества обслуживания пользователей сети и возможности сети в целом, следующие:

- пропускная способность транспортных магистралей или базовые скорости передачи, определяемые уровнем транспортных модулей (STM-N, N=1, 4, 16,...);
- объем входящего и исходящего трафика в узлах сети;

- суммарный трафик в трактах и магистрях сети;
- надежность или коэффициент готовности сети в целом [4].

К современным ЦПС и корпоративным сетям предъявляют следующие основные требования, обеспечивающие возможность не только гарантировать необходимое качество обслуживания, но и дальнейшее развитие сети:

- необходимая полоса пропускания;
- расширяемость и масштабируемость сети;
- управляемость сети;
- интеграция различных видов трафика;
- совместимость оборудования;
- резервирование трафика, трактов и каналов;
- наивысшая заданная надежность и готовность [4].

Наиболее рациональной для глобальных магистральных или транспортных сетей является многослойная архитектура вида IP/ATM/SDH/DWDM.

Суть организации построения проектируемых транспортных сетей приведена на рис. 1.2.

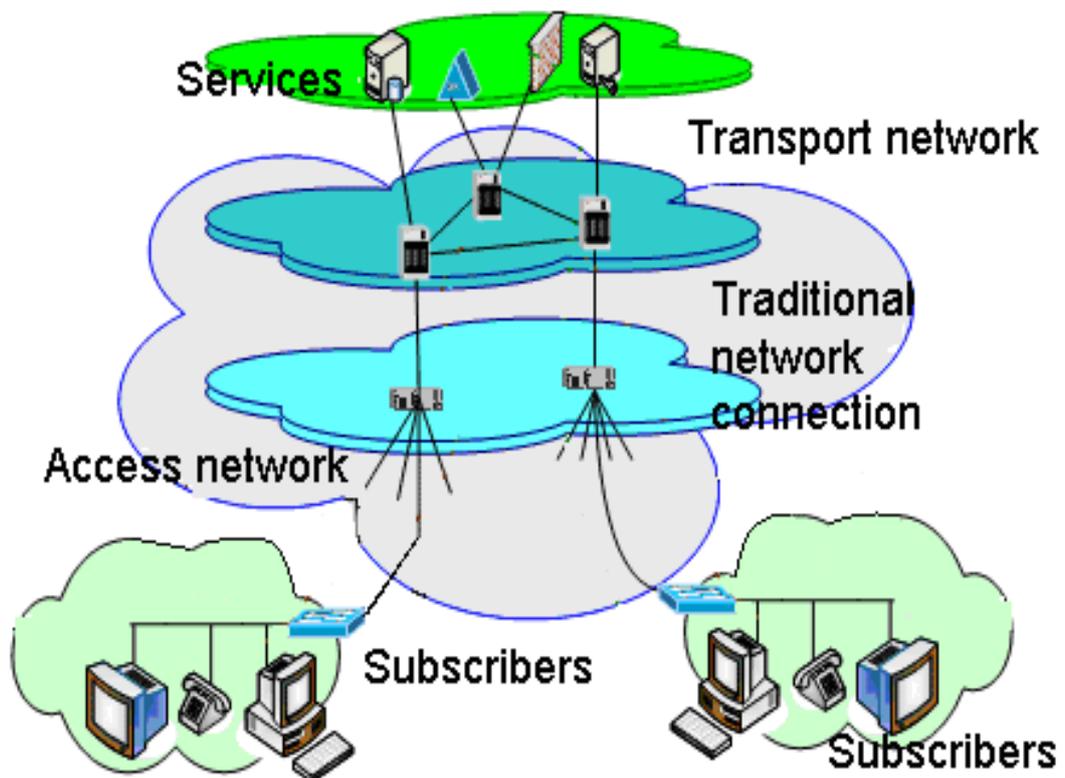


Рисунок 1.2 - Принцип построения транспортной сети

Представленная модель может служить основой для проектирования сети связи любых масштабов.

1.4 Особенности современной технологии DWDM

Сетевые операторы, использующие современные широкополосные транспортные технологии цифровой передачи данных, в борьбе за доминирующее положение на рынке телекоммуникационных услуг делают ставку на технологию оптического мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM), предполагая увеличение общей ширины полосы передачи путем увеличения числа каналов (или несущих), пропагандируя тем самым экстенсивный путь развития [5].

В технологии WDM нет многих ограничений и технологических трудностей, свойственных TDM. Для повышения пропускной способности в технологии WDM увеличивают число каналов (длин волн), применяемых в системах передачи.

Рост пропускной способности при использовании технологии WDM осуществляется без дорогостоящей замены оптического кабеля. Применение технологии WDM позволяет сдавать в аренду не только оптические кабели или волокна, но и отдельные длины волн, то есть реализовать концепцию «виртуального волокна». По одному волокну на разных длинах волн можно одновременно передавать самые разные приложения. Как следствие этого, часть волокон в оптическом кабеле можно использовать для резерва [6].

Применение технологии WDM позволяет исключить дополнительную прокладку оптических кабелей в существующей сети. 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. Технология WDM предоставляет именно такую возможность.

Технология WDM пока применяется в основном на линиях связи большой протяженности, где требуется большая полоса пропускания. Сети городского и регионального масштаба и системы кабельного телевидения потенциально также являются широким рынком для технологии WDM. Необходимость эффективно использовать проложенный кабель привела к значительному увеличению числа каналов, передаваемых по одному волокну, и уменьшению расстояния между ними [6].

В технологии WDM каналы полностью независимы, а потому она дает большую гибкость, чем технология TDM. Технология WDM позволяет без каких-либо трудностей передавать по линии связи множество каналов, тип трафика и скорость передачи данных, в каждом из которых может существенно различаться.

1.5 Модель взаимодействия транспортных технологий

Многоуровневая модель взаимодействия технологий транспортировки сигнала в глобальных цифровых сетях - SDH, ATM и IP - до появления WDM-систем.

После появления WDM-систем модель приобрела другой вид. Промежуточный уровень WDM, подобно SDH, обеспечивает физический интерфейс, позволяющий через физический уровень выйти на оптическую среду передачи не только технологиям SDH, но и технологиям ATM и IP [7].

Естественно, ATM- и IP-трафик может быть передан и с использованием технологий SDH, а SDH -трафик - с помощью WDM, что сохраняет преемственность традиционных схем транспортировки и увеличивает гибкость систем WDM-SDH в целом. Технология WDM обеспечивает технологиям ATM, Ethernet и IP физический интерфейс для выхода на физический уровень и далее в оптическую среду передачи.

DWDM - это физический уровень сети, который работает независимо от типа передаваемой информации или от ее формата. Подобная гибкость в сочетании с огромной пропускной способностью делает DWDM идеальной технологией для опорной инфраструктуры сетей следующего поколения, каковыми являются сети NGN.

Чтобы DWDM могла обеспечить потребности будущих сетей связи, все стороны, заинтересованные в их развитии, должны рассматривать проблему в более широком аспекте, включая взаимодействие с системами мобильной связи третьего поколения [8].

Как только системы мобильной связи третьего поколения вошли в строй и стали широко доступны пользователям, операторам потребовалась высокая пропускная способности цифровых трактов и широкой полосы каналов. В этих условиях DWDM, SDH и различные технологии обеспечат новым системам эффективное решение их транспортных проблем.

По мере увеличения сложности системы связи вероятность отказа какого-либо из ее компонентов увеличивается. Современные системы связи используют большое количество элементов, что делает необходимым использование резервирования и обходных маршрутов для повышения коэффициента готовности системы связи в целом. Рассмотрим основные способы увеличения показателя готовности сети.

Тип резервирования по схеме 1+1 обычно широко используется в кольцевых архитектурах. В основной конфигурации кольцевой архитектуры трафик от источника одновременно передается по обоим направлениям и решение о переключении между основной и резервной линиями принимается в месте назначения. В этой ситуации только потеря сигнала (LOS) требуется для инициализации перехода на резерв, и не требуется никакой информации управления или команд, чтобы перейти между двумя этими состояниями.

Это позволяет минимизировать отказы общего типа. В силу простоты подхода, он обеспечивает наиболее быстрое восстановление системы с минимальными требованиями на осуществление сложного мониторинга и специального оборудования. Однако, это дорого и менее эффективно, с точки

зрения использования оборудования, чем использование резервирования типа N+1. Это неэффективно, потому что резервное оборудование остается неиспользуемым практически все время, не принося прибыли.

Более эффективное использование резервного оборудования можно получить при использовании метода защиты линии передачи по схеме N+1. Защита N+1 делает использование оборудования более эффективным экономически, но требует более сложного управления и не может предложить того же уровня доступности, как при использовании схемы защиты 1+1. Также трудно провести деление маршрутов на рабочие и резервные.

Следующим вариантом повышения отказоустойчивости сети является резервирование терминального оборудования по схемам 1:1, или N:1, или N:m. В этом случае восстановление работоспособности осуществляется за счет резервирования на уровне трибных интерфейсов. Схема резервирования, обозначаемая в общем случае как N:m, использует m резервных на N работающих интерфейсных карт, что допускает различную степень резервирования: от 1:1 (100%) до N:m, где m=1 минимально, когда на N основных трибных интерфейсных карт используется одна резервная.

Основными структурами транспортных сетей являются: линейная (односвязная), кольцевая (двусвязная) и ячеистая (многосвязная). Учитывая двусвязность кольцевых топологий, в них допускается значительно меньший показатель надежности отдельных элементов сети по сравнению с линейной структурой, что привело к широкому распространению на транспортных городских сетях структур самовосстанавливающихся колец. Однако, многосвязные (ячеистые) сети гораздо более живучи.

Как показывает практика развития сетей SDH в европейских странах наиболее оптимальной с точки зрения оптимизации затрат на сеть в целом и наиболее надежной и гибкой является ячеистая архитектура. Расширяя сеть по мере накопления новых узлов и прокладке параллельных линий, даже сеть, состоящая из одного SDH кольца, впоследствии оказывается, что на базе данного сегмента была построена некоторая ячейка. Аналогичный процесс повторяется и на других сегментах, образуя в результате классическую ячеистую сеть с различными потоками в разных ее сегментах, диктуемыми потребителями трафика. Аналогично можно построить ячеистую сеть на основе сети из нескольких колец SDH, соединив некоторые узлы колец звеньями для придания сети большей гибкости и надежности.

На начальном этапе модернизации сети связи наиболее рациональным и экономически выгодным является комбинированное использование существующего оборудования SDH и внедряемого WDM. Таким образом, системы WDM будут использоваться для передачи больших потоков данных (например, передача internet-трафика). Системы SDH будут использоваться для передачи и выделения низкоскоростного трафика. Построение такой комбинированной системы даст такие дополнительные возможности:

Более эффективное использование емкости сети, за счет оптимального распределения низкоскоростных и высокоскоростных потоков данных.

Повысит надежность сети, за счет различных схем резервирования на WDM и SDH уровнях.

Увеличит скорость магистральных соединений и позволит расширить существующую сеть.

В дальнейшем при переводе сети полностью на системы WDM будет получен ряд преимуществ, таких как:

- возможность оставить существующие схемы обеспечения надежности;
- высвобождение занятых оптических волокон, за счет оптимального использования других волокон;
- отсутствие необходимости прокладки нового оптического кабеля;
- возможность оперативной масштабируемости сети и простота дальнейшего наращивания пропускной способности;
- обеспечение независимости передачи данных любого типа по одному волокну на разных длинах волн.

В системах DWDM, осуществляющих перенос трафика SDH, существуют как специфические методы защиты трафика, например, переключение на резервную длину волны в случае отказа исходной несущей, так и традиционные в принципе, но не всегда возможные в рамках традиционной системы SDH, например, динамическая маршрутизация - перенаправление оптических несущих по новому маршруту при обрыве кабеля или деградации сигнала на предыдущем маршруте.

Так как сети на основе мультиплексирования по длине волны повышенной плотности (Dense Wave Division Multiplexing, или DWDM) имеют высокий потенциал масштабирования благодаря суперканалам емкостью 100 Гбит/с, 500 Гбит/с и даже 1 Тбит/с, цифровая коммутация, необходимая для управления пропускной способностью сети, становится важным элементом построения эффективных транспортных сетей. Целью данной статьи является изучение четырех различных подходов к внедрению OTN-коммутации в различных архитектурах, а также представление системы оценки EQ, обеспечивающей инструменты и методологию для измерения уровня эффективности и общей стоимости владения сети. Результаты данного сравнения подчеркивают важность проведения оценки всей сетевой топологии, а также тенденций роста пропускной способности в разрезе нескольких лет в сравнении с проведением анализа, основанного на оценке каждого маршрута и стоимости соответствующего оборудования на начальном этапе внедрения. Это даст возможность действительно понять принципы формирования капитальных и эксплуатационных издержек владельцев сети в зависимости от выбора архитектуры.

Сегодня отрасль переживает переломный момент: традиционные методы ведения бизнеса, то есть простое увеличение скорости передачи данных в оптических сетях с целью снижения стоимости за бит, недостаточны для поддержания данных соотношений. Операторам нужно масштабировать свои сети, но также им необходимо исследовать возможности новых архитектур, более эффективно использующих оптическую мощность, сокращающих количество уровней сети и автоматизирующих сложные процессы. Так как технология DWDM обеспечивает уровень пропускной способности до 100 Гбит/с и выше, ей понадобится «перезагрузка» оптики, и

выбор той или иной архитектуры будет иметь непосредственный эффект на сетевые издержки в течение нескольких последующих лет.

В рамках оценки архитектуры и сетевого оборудования соответственные текущие, а иногда и скрытые капитальные расходы (CAPEX) и эксплуатационные издержки (ОРЕХ) должны быть исследованы. Для четырех различных типов архитектуры:

- 1) сеть WDM исключительно на основе мукспондеров;
- 2) сеть WDM с внешней системой OTN-коммутации;
- 3) сеть WDM с интегрированным OTN-коммутатором на одном шасси;
- 4) сеть WDM с интегрированным OTN-коммутатором на основе оптических интегральных схем (PIC).

В настоящий момент архитектуры сетей операторов связи имеют уровни, где каждый уровень предполагает использование отдельного устройства, которое выполняет определенную функцию. Типичная сеть-опорная сеть дальней связи может выглядеть так:

- IP-маршрутизаторы;
- уровень коммутации;
- уровень DWDM

С самого начала мультиплексирование по длине волны повышенной плотности (DWDM) является последним уровнем (степенью) конвергенции, так как фотоны могут переносить любой тип трафика, будь это IP, TDM, SAN или другие протоколы, и в конечном итоге магистральные сети работают за счет оптических сигналов. Необходимо, чтобы на этом уровне продолжалось масштабирование емкости каждого волокна, так как лизинг или внедрение новых оптоволоконных линий очень дороги.

Мы уже убедились, что транспортные сети способны масштабироваться до 100 Гбит/с на канал и до 500 Гбит/с на суперканал, а суперканалы 1 Тбит/с будут доступны в течение нескольких лет. Эта тенденция означает, что емкость оптических сетей демонстрирует потенциал значительного роста, как относительно повышения пропускной способности за один операционный цикл, так и масштабирования емкости оптоволоконной от 8 Тбит/с до 24 Тбит/с в будущем.



Рисунок 1.3 - Типичная операторская сеть состоит из отдельных уровней

Основная проблема состоит в том, что современные операторские DWDM-сети, состоящие главным образом из мукспондеров или транспондеров и конфигурируемых оптических мультиплексоров ввода-вывода (ROADM), не способны к быстрому масштабированию, чтобы справиться с распространенной проблемой несогласованности каналов.

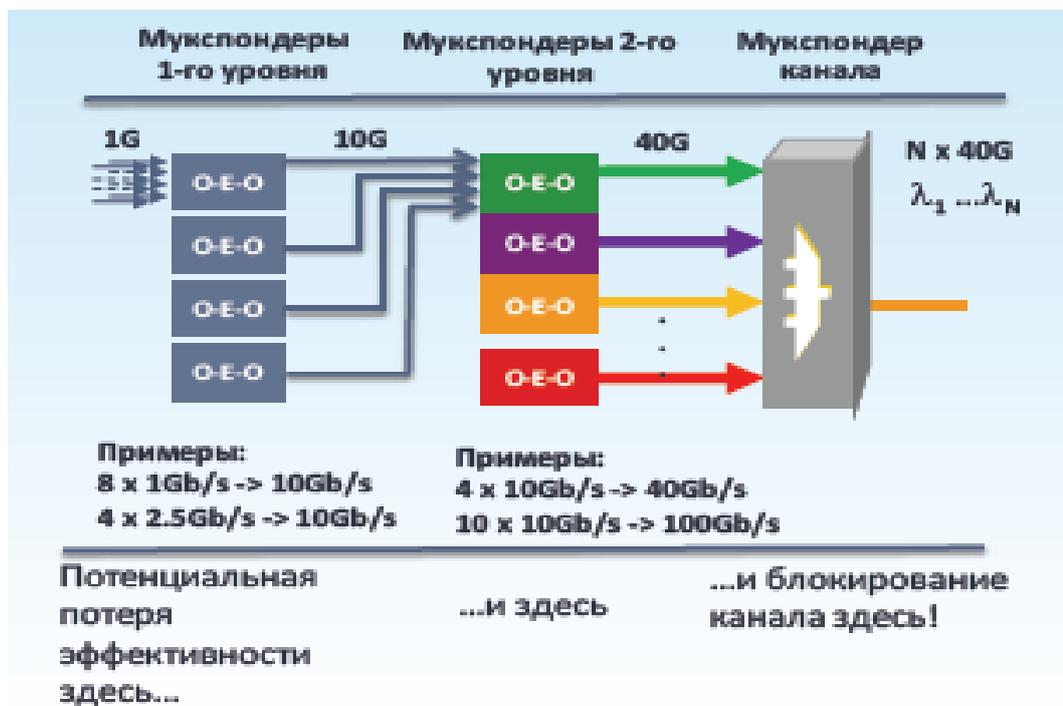


Рисунок 1.4 - Двухуровневая архитектура на основе мукспондера

Мультиплексор – это фиксированная линейная карта, оснащенная, к примеру, восемью гигабитными каналами со стороны магистрали и одним каналом 10G с сервисной стороны и имеющая «зеркальную» линейную карту с другого конца линии, которая соединяет две географические точки, находящиеся на большом расстоянии друг от друга. Транспондер оснащен одним интерфейсом 1 GbE со стороны сервисов и одним каналом 10G со стороны магистрали, с «зеркальной» картой на другом конце волокна. Чтобы упростить объяснение, в качестве примера возьмем мультиплексоры. Благодаря мультиплексорам операторы могут организовывать очень простые, но соединяемые и обеспечиваемые полностью вручную соединения между двумя точками сети.

Мультиплексоры имеют следующие недостатки:

- 1) сервисы «привязаны» к частотам;
- 2) агрегация вручную без коммутации;
- 3) агрегация только в приоритетных точках регенерации сервисов;
- 4) сложные ручные процессы проектирования.

Стоит также упомянуть мультиплексоры ROADM, которые представляют собой оптические решения для коммутации, способные коммутировать оптический канал и способствовать автоматизации сети в случае, если канал полностью занят сервисами. В течение последних лет, с 2007 по 2011 годы (как показано на рис. 3), одним из основополагающих сервисов была трансляция 10GbE в канал DWDM 10G DWDM, что и создавало проблему несогласования каналов между магистралью и клиентским оборудованием – что, в свою очередь, создавало благоприятную среду для развития оптической коммутации, предоставляемой посредством мультиплексоров ROADM.

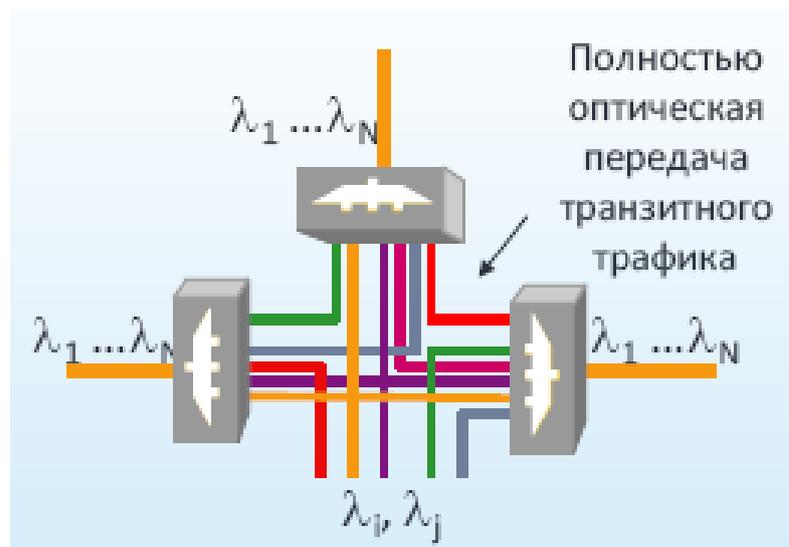


Рисунок 1.5 - Мультиплексоры ROADM предоставляют средства полностью оптической коммутации

Решение мультиплексора ROADM:

- коммутация только оптического сигнала;
- отсутствие агрегации внутри канала и между каналами;
- оптимальное использование только при полностью занятом

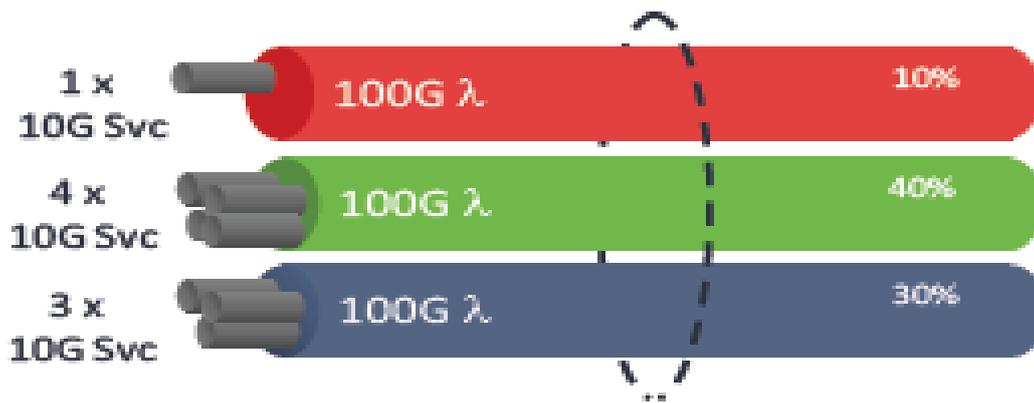
канале.

Однако в то время как технология DWDM развивается в направлении более высоких уровней производительности (100G, 500G и 1 Тбит/с), хотя пропускная способность сервисов не превышает 10G, вышеописанная архитектура уже не работает. Использование мультиплексирования ROADM для автоматизации оптического транзитного трафика во многих сетях, где каналы 100G полностью заняты сервисами, оправдано, но в большинстве случаев останутся незаполненные каналы. Так как при использовании мукспондеров для внедрения сервисов требуется соединение волокна вручную, установка дополнительных мукспондеров в распределительных узлах для перевода аналоговых сервисов в электронные, а зачастую и несколько стадий мультиплексирования, осуществить заполнение дорогих каналов становится дорого, что обуславливает низкую эффективность архитектуры.

Распространённая проблема несогласования каналов требует решения, и здесь им оказывается цифровая коммутация – с ее помощью можно организовать управление полосой пропускания.

В отличие от мультиплексирования ROADM, средства цифровой коммутации могут «вскрыть» канал и в прямом смысле манипулировать сервисами вплоть до уровня в 1 Гбит/с. Это достигается путем превращения фотонов в канале в электроны и отправки их на матрицу коммутации, где они коммутируются электронными средствами. После этого узловой коммутатор может подключать входящие сервисы, отключать их, перенаправлять их с одного спектрального канала и группировать с другими сервисами, а затем размечать эти сервисы, перенаправляя их в другой канал. Такие операции осуществимы с любым сервисом, портом и каналом в любом направлении и не способствуют блокировке канала – то есть, они заполняются и используются эффективнее, а, следовательно, снижается их требуемое количество для работы определенных сервисов каналов [9].

а)



б)

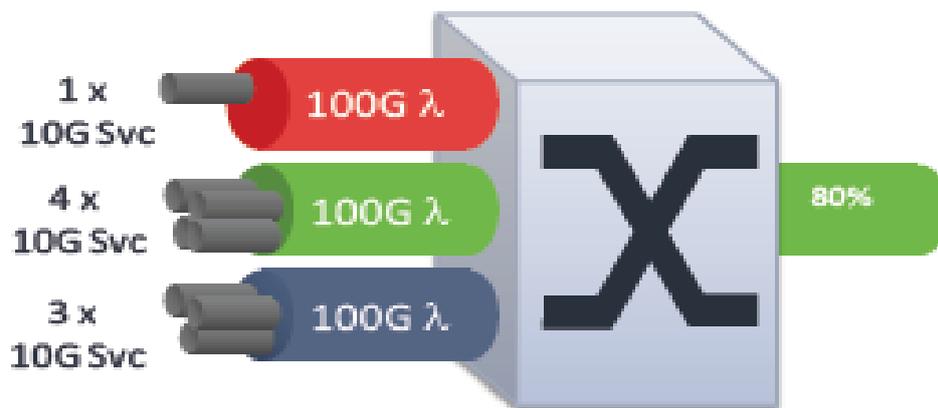


Рисунок 1.6- а) без коммутации, 3 (λ) канала, средний показатель наполнения канала 26% б) с коммутацией в 1 канала (λ) наполнение канала 80%

Цифровая коммутация помогает справиться с проблемой несоответствия соединений между сервисами и магистралью, что способствует повышению эффективности.

Меньшее количество каналов означает меньшее количество требуемых модулей DWDM и шасси для встраивания данных модулей, меньшее количество волоконных соединений, меньше электроэнергии, меньше операций для обеспечения работы систем. Все вышеперечисленные элементы влияют на объем капитальных и эксплуатационных издержек, которые потребуются в течение некоторого периода времени для обеспечения масштабируемости сети. В конечном итоге, уровень коммутации можно объединить с автоматизированным уровнем управления, например, GMPLS, для управления мультиплексированием ROADMs, оптической или электронной коммутацией, способной обеспечить существенную экономию средств при проектировании и эксплуатации сети.

Существует ряд способов внедрения цифровой коммутации. Обычно средства цифровой коммутации устанавливались в виде отдельного шасси

коммутации, подключенного к нескольким стойкам DWDM посредством десятков тысяч коротких «серых» оптических соединений.

Внешний коммутатор в большинстве случаев устанавливают в крупных узлах – например, в больших городах и иногда в городах второго диапазона. Преимуществом внешнего коммутатора является его способность повышать заполняемость каналов, что в результате снижает количество требуемых транспондеров, а также автоматизировать предоставление и агрегацию сервисов в промежуточных узлах, так как таким коммутатором можно управлять удаленно. Однако, недостатком этого решения становится существенное повышение затрат как ввиду приобретения самого коммутатора, так и за счет требуемых для его внедрения дополнительных модулей, промежуточных соединений, пространства, электропитания, услуг сервисного обслуживания и поддержки эксплуатации – по этой причине внешние коммутаторы внедряют в ограниченном количестве узлов [9].

Интеграция DWDM с OTN-коммутацией в едином устройстве, то есть более недорогая аппаратная часть оборудования служит для объединения двух уровней сети, и при этом не требуется много кабельных соединений.

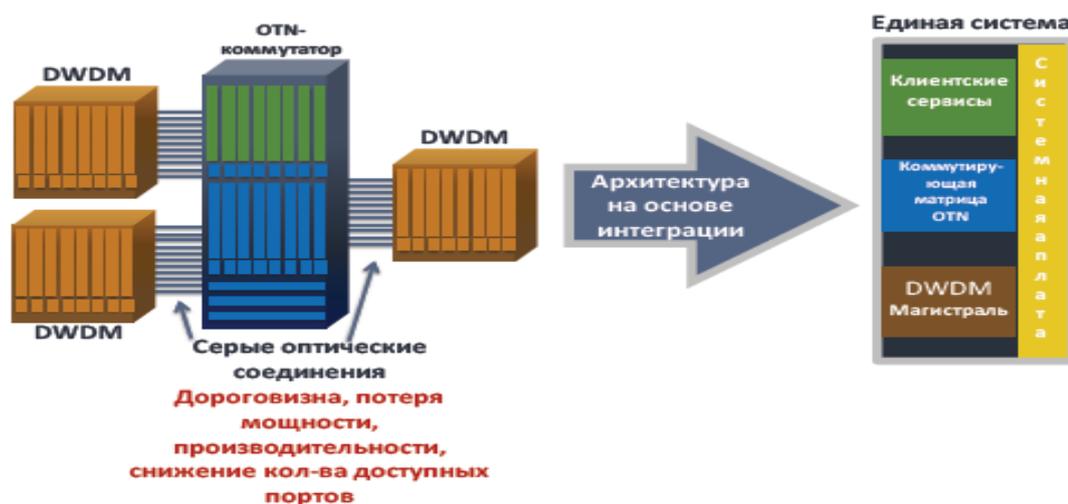


Рисунок 1.7 - Интеграция функции коммутации с DWDM заменяет сотни промежуточных соединений с электрической аппаратной частью.

Посредством такой интеграции можно снизить совокупную стоимость владения по следующим причинам:

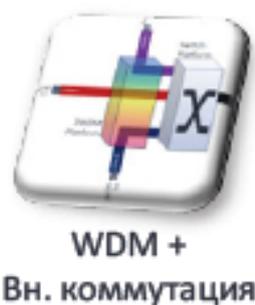
1. функция коммутации встроена в каждое устройство OTN/DWDM, и коммутация может быть глубоко внедрена на протяжении всей сети, что увеличивает эффективность и снижает количество требуемых каналов;
2. высокоскоростная электронная системная плата уменьшает капитальные и эксплуатационные затраты за счет упразднения сотен коротких «серых» оптических соединений;
3. использование единого решения вместо нескольких аппаратных устройств позволит обойтись без части дополнительных шасси, линейных

модулей и требуемых для их работы в каждом узле электропитания, пространства и обслуживания [9].

«Коэффициента Эффективности» (EQ) - системы оценки и набора инструментов для измерения совокупной стоимости оборудования. Система EQ используется для оценки различных подходов к проектированию архитектур транспортных сетей.



а) WDM мультиплексеры – работает без коммутации каналов, агрегация проходит вручную в крупных узлах. Используется дискретно-аналоговая оптика



б) WDM+внутренняя коммутация – коммутация происходит в крупных и средних узлах, также использует дискретно-аналоговую оптику



в) WDM+интегральная коммутация- на дискретно-аналоговой оптике используется проникающая коммутация



WDM на PIC + Инт. коммутация

г) WDM на PIC + интегральная коммутация – проникающая коммутация, но уже на оптической интегральной схеме

Рисунок 1.8 - Система EQ

Очевидными достоинствами использования оборудования DWDM на участках доступа и магистрали транспортной сети оператора являются:

- высокая надежность и скорость восстановления сервисов.
- возможность централизованного управления и мониторинга сети.
- передача всех типов трафика без потери качества.
- очень широкий диапазон иерархии скоростей, обеспечивающий масштабирование сети в рамках одной технологии.
- высокое качество обслуживания для любых типов трафика и в любом сочетании.
- гибкость интерфейсов, за счет чего к магистрали можно подключить практически любое современное оборудование сети доступа.
- простота в эксплуатации и низкие эксплуатационные расходы.

Для обоснования проведения последующих экспериментов (глава 2) необходимо было рассмотреть эффективность технологии DWDM.

После проведения информационного анализа инженерных решений было определено 4 вида архитектуры транспортной сети DWDM. В результате для оценки различных подходов работы было спроектировано и проведено исследование эффективности технологии DWDM в городе Алматы для сети NGN. Для организации сети была выбрана технология DWDM с применением интегральных схем в оборудовании Huawei OSN 6800. На базе данной технологии построена структурная схема сети, представленная на рисунке 1.8. Были выбраны все необходимые типы оборудования, которое используется в сети мобильного оператора.

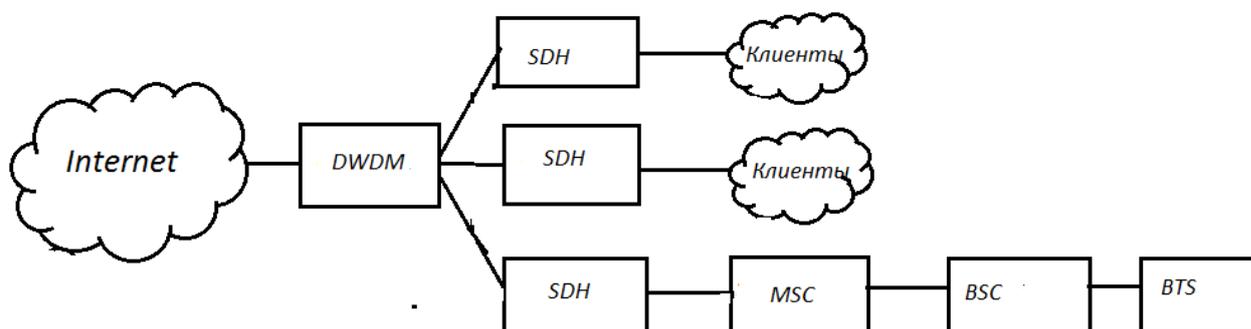


Рисунок 1.9 - Структурная схема транспортной сети оператора мобильной связи

Для создания эффективной системы анализа транспортной сети необходимо проанализировать исследования эффективности схемы 7.1.

Проведение эксперимента осуществлялась на тестовой сети компании ТОО «КаР-Тел» в городе Алматы.

Для начало хочу описать каждое оборудование, которое было использовано в ходе проведения тестов.

В качестве DWDM использовалось мультисервисная платформа Huawei OptiX OSN 6800/3800

Huawei OptiX OSN 6800/3800 – это интеллектуальная мультисервисная платформа WDM на базе OTN/ASON, которая позволяет сетевым операторам перейти от традиционных, ориентированных на передачу речи, сетей к сетям ориентированным на передачу данных. Она разработана для сетевых операторов, которым нужна гибкая, рентабельная система, позволяющую мультиплексировать, передавать и коммутировать высокоскоростные данные, видео. Решение предоставляет управляемую и рентабельную платформу, которую можно реорганизовать. Поддерживающую множество услуг, сетевых топологий, протоколов прозрачной передачи в городских и региональных сетях.

В ходе эксперимента в Huawei OptiX OSN 3800 будет агрегированы следующие коммутирующие платформы:

- 1) DWDM исключительно на основе мукспондеров;
- 2) DWDM с внешней системой OTN-коммутации;
- 3) DWDM с интегрированным OTN-коммутатором на одном шасси
- 4) DWDM с интегрированным OTN-коммутатором на основе оптических интегральных схем.

В качестве коммутатора (MSC) использовалось оборудование Huawei MSOftx3000. Он осуществляет управление вызовами и обработку сигналов и протоколов для обеспечения основных и дополнительных услуг. Также данный коммутатор взаимодействует с сервером приложений (AS) для предоставления абонентам различных дополнительно оплачиваемых услуг. На коммутаторе будет проводиться обработка имитируемых вызовов, для подсчета KPI оператора сотовой связи.

Контроллер базовых станций является важным элементом сети сотовой связи GSM и UMTS. В тестовой зоне компании используется контроллер BSC6900. Получается, что один 69-ый контроллер может работать в трёх режимах, как GSM, как UMTS, как GSM/UMTS. Главной особенностью этого контроллера является возможность подключения всех интерфейсов по IP, это очень важно, т.к. все операторы в будущем планируют и уже начинают плавный перевод всех сетей на IP транспорт, т.к. это даёт большие

возможности. Контроллер может выдержать нагрузку до 100500 за час одновременно.

Huawei BTS3012 состоит из приема/передатчиков отвечающих по инициацию звонков в сети оператора сотовой связи.

Проверка неисправностей производится в отношении различных программных ресурсов системы. Механизм проверки обеспечивает высвобождение заблокированных ресурсов и вывод соответствующих протокольных записей и аварийных сигналов.

Функция контроля задач проверяет аппаратную и программную часть на наличие любых неисправностей. Кроме того, выдаются отчеты об обнаруженных неисправностях. Также могут контролироваться статус задачи и нештатные явления в рамках системы.

Система может осуществлять регулярную или зависящую от событий проверку целостности данных, выборочно восстанавливать целостность данных и выдавать соответствующие записи и аварийные сигналы.

Система фиксирует пользовательские операции в течение конкретного периода и сохраняет записанную информацию в рабочем журнале. Рабочий журнал может использоваться для обнаружения ошибок или исключений из-за неправильных операций для восстановления нормального состояния системы.

Для получения данных по имитированным звонкам, использовалось оборудование E2E от производителя «Асимус». Данное оборудование чувствительны к влиянию эксплуатационных характеристик сети, могут быть измерены с помощью стандартных технических средств.

Оборудование может показать следующие характеристики сети:

- доступность - отражает успешность доступа к сервису (% успешных Attach, % неуспешных попыток соединения с сервис-платформами и т.п.)
- производительность - отражает время доступа к сервису (время присоединения к сети, время загрузки страницы и т.п.) и работу сервиса (скорость передачи, % ретрансмиссий и т.п.).
- целостность - отражает качество и целостность принятого контента (% «битых» ссылок и т.п.).

По этим характеристикам можно вычислить основной показателей качества CunSR (процент неуспешных соединений), который рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{CunSR} = 100 * [1 - (1 - \text{SDCDR}/100) * (1 - \text{TAFR}/100) * (1 - \text{CDR}/100)]$$

где:

SDCDR-S = Вычисляется как отношение количества соединений разорванных не по инициативе абонента на каналах SDCCH к общему количеству выделений каналов SDCCH, умноженное на 100 (для перехода к процентам)

$$S = \text{SDCCH drop call} / \text{SDCCH all}$$

TAFR-T=Вычисляется как отношение неуспешных попыток назначения канала TCH к общему количеству попыток выделений каналов TCH, умноженное на 100

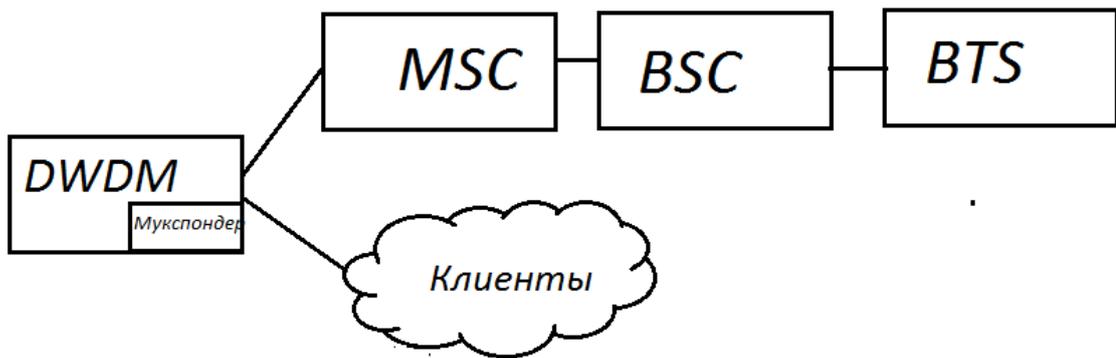
$$T = 1 - \text{Successful TCH for call} / \text{Attempted TCH for call}$$

CDR-C= Вычисляется как отношение количества соединений разорванных не по инициативе абонента к общему количеству соединений .

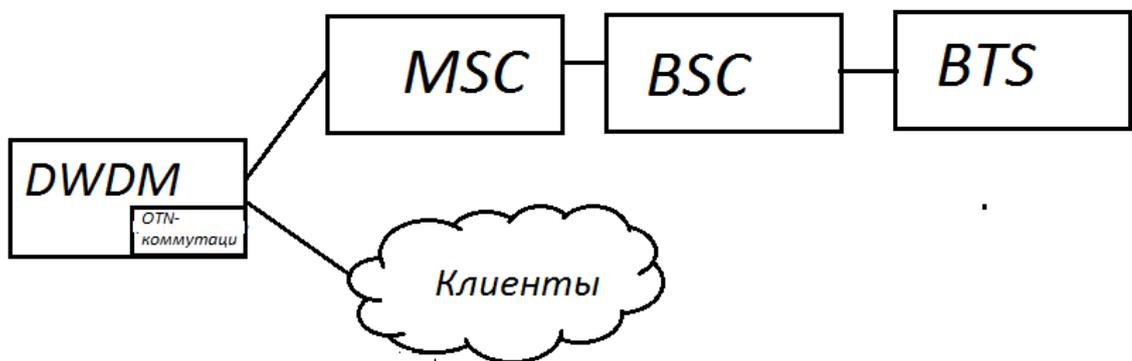
$$C = \text{TCH drop call} / \text{TCH all call}$$

Данные по качеству и по количеству звонков будут собраны с оборудования E2E.

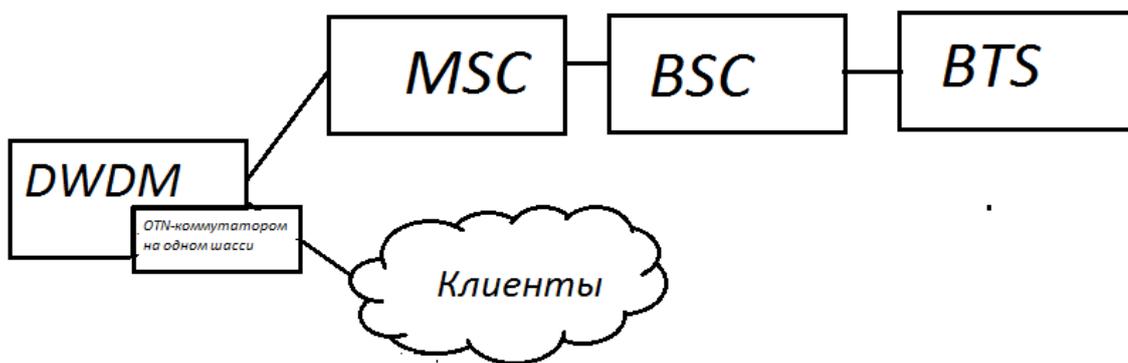
а) DWDM исключительно на основе мукспондеров



б) DWDM с внешней системой OTN-коммутации



в) DWDM с интегрированным OTN-коммутатором на одном шасси



с) DWDM с интегрированным OTN-коммутатором на основе оптических интегральных схем

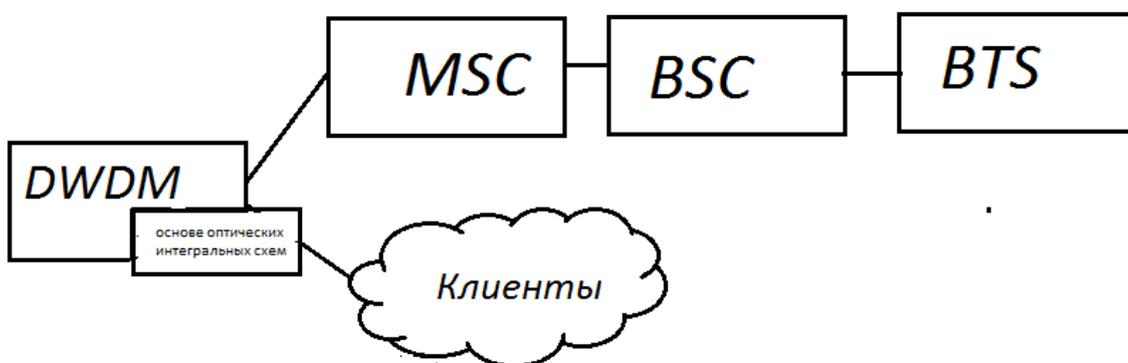


Рисунок 1.10 - Структурные схемы транспортной сети, на котором будут проводиться имитация звонков и расчет KPI

2 Глава Экспериментальная часть

2.1 Составляющие компоненты алгоритма перехода соединения между BSC и MSC

Как говорилось в предыдущих главах развитие мобильной телефонии в течении нескольких последних лет показало экспоненциальный рост предоставляемых услуг. Такие услуги как, роуминг, интеллектуальные сети, короткие мультимедийные сообщения и т.д. являются важными составляющими для увеличения прибыли операторов связи. Эти услуги основываются как на пропускной способности транспортной сети, так и основаны на SCCP(Signalling Connection Control Part) и на пропускной способности сигнальных линков ОКС№7. Рост потребностей сообщений ,основанных на SCCP увеличивает зависимость нагрузку на LSL ,и в результате показывает недостаточность пропускной способности LSL, и требует перехода на HSL, тем более во время праздничных нагрузок. Ниже, на рисунке 2.1 представлена схема соединения коммутатора (MSC) и контроллера (BSC). Из схемы видно, что между коммутатором и контроллером стоит транскодер (TC). Транскодер (TC) отвечает за перекодировку сигнализации из одной скорости в другую. Так, как LSL проходит через транскодер и подвергается изменению скорости, появляется дополнительная задержка на транскодирование сигнализации. Это означает, что обработка сигнализации на коммутаторе будет проходить медленнее, и отразится на качестве связи.

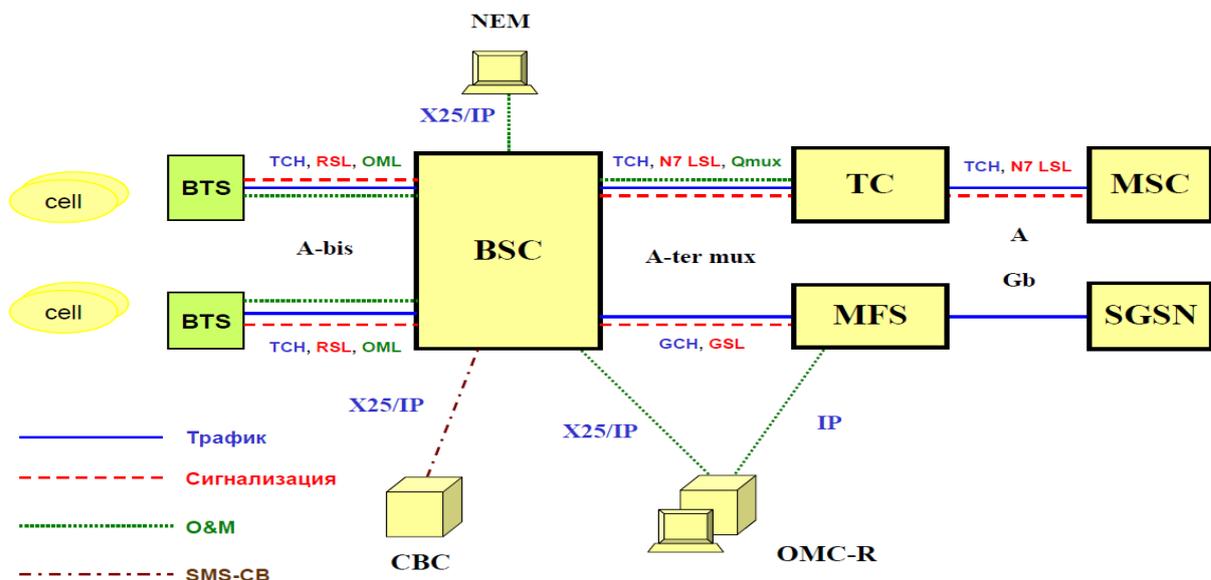


Рисунок 2.1- Схема прохождения LSL

1. коммутатор – для обработки вызовов и сбора информации по нагрузке;
2. контроллер – для организации вызовов;
3. транскодер;
4. GSM–шлюз – для имитации вызовов, для создания нагрузки как во время праздников;
5. оборудование E2E – для сбора данных по количеству всех и неуспешных вызовов;

Для достижения своей цели были проведены следующие экспериментальные исследования

Первым этапом исследования является расчет основных KPI (до перевода контроллеров на HSL)

Просчитывается параметр *CunSR* (процент неуспешных соединений) по следующей формуле:

$$CunSR = 100 * \left[1 - \left(\frac{1-SDCDR}{100} \right) * \left(\frac{1-TAFR}{100} \right) * \left(\frac{1-CDR}{100} \right) \right] \quad (2.1)$$

где:

SDCDR-S = Вычисляется как отношение количества соединений разорванных не по инициативе абонента на каналах *SDCCH* к общему количеству выделений каналов *SDCCH*.

$$S = 100 * \frac{SDCCH \text{ drop call}}{SDCCH \text{ all call}} \quad (2.2)$$

TAFR-T = Вычисляется как отношение неуспешных попыток назначения канала *TCH* к общему количеству попыток выделений каналов *TCH*.

$$T = 1 - \frac{Successfull \ TCH \ for \ call}{Attemped \ TCH \ for \ call} \quad (2.3)$$

CDR-C = Вычисляется как отношение количества соединений разорванных не по инициативе абонента к общему количеству соединений.

$$C = \frac{TCH \ drop \ call}{TCH \ all \ call} \quad (2.4)$$

На рисунке 2.3 представлена структурная схема прохождения сигнализации до перевода с *LSL* на *HSL*.

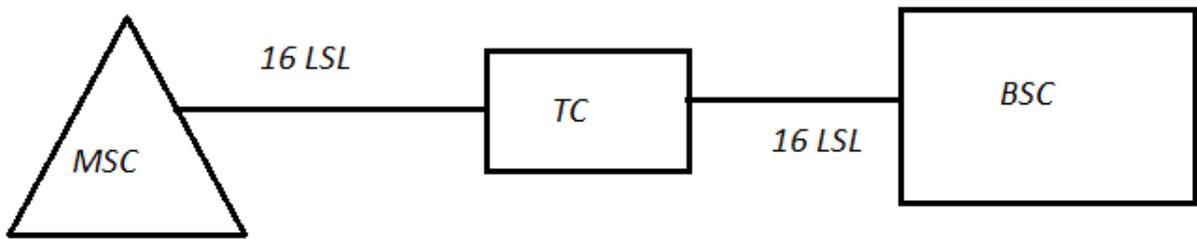


Рисунок 2.3 – Структурная схема для случая 1

После проведения имитации звонков в зоне действия тестового контроллера были полученные данные по нагрузке, которые показаны на графике 2.1, данные рассчитанные по показателю *CunSR* показаны на графике 2.2.

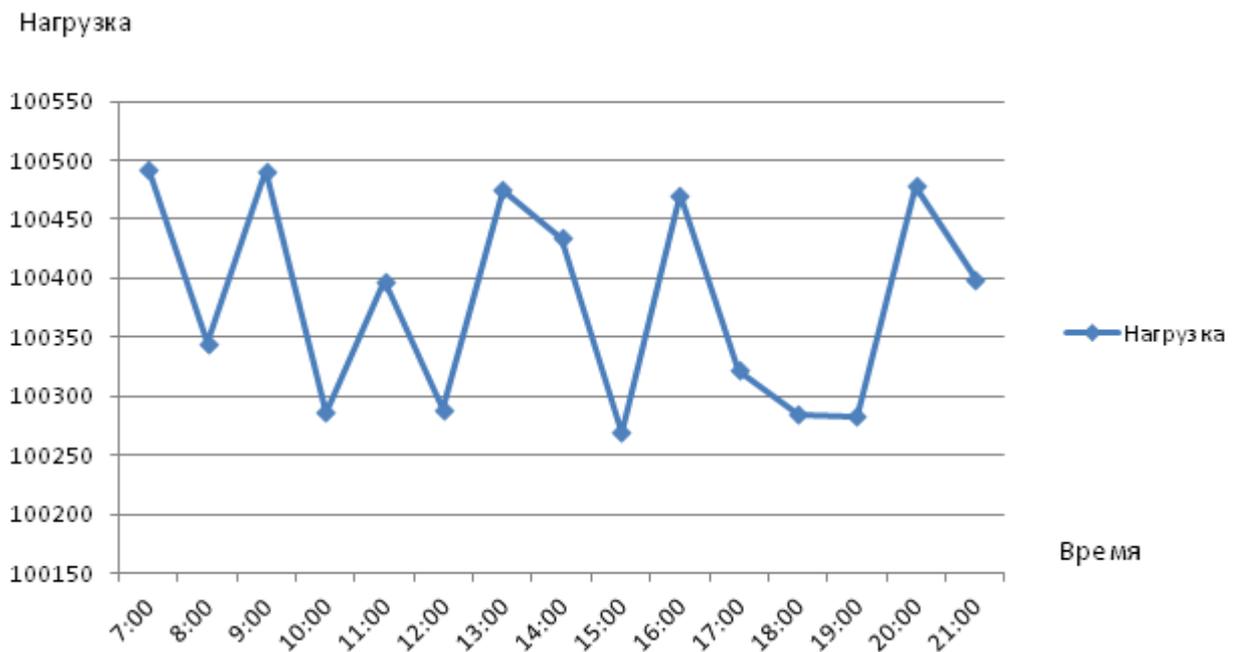


График 2.1 – Имитируемая нагрузка

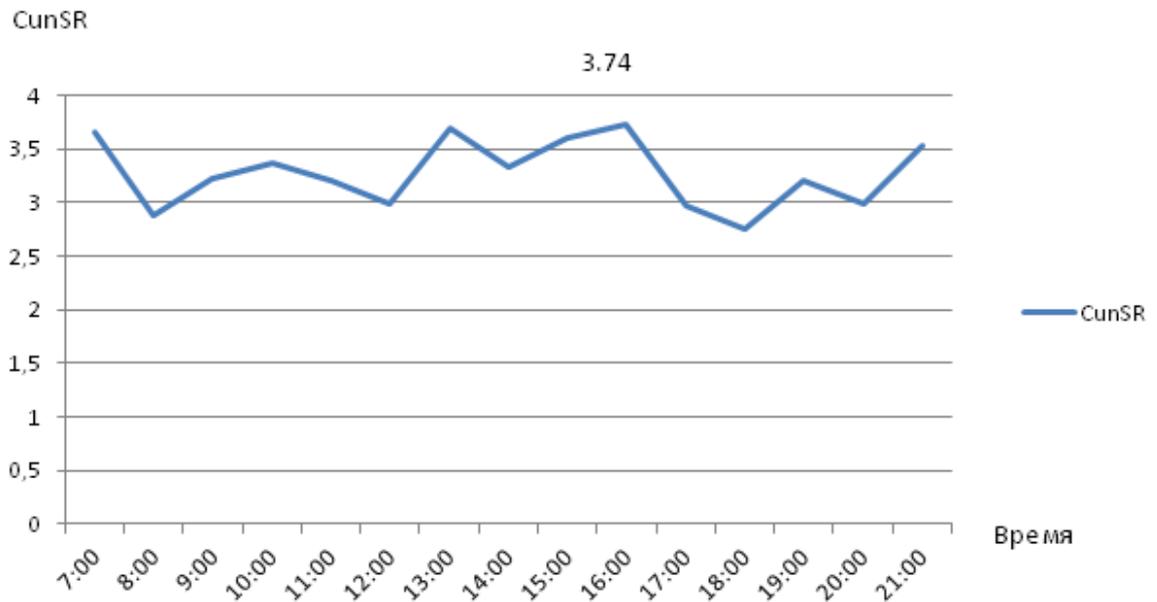


График 2.2 – Рассчитанный показатель CunSR

Результаты исследований показывают, что с приближением максимальной нагрузки, которую может обработать контроллер, показатель CunSR увеличивается и в нашем случае достиг 3,74 при допустимых 2,2 для оптимального качества связи. Тем самым ухудшаются показатели работы компании. Единственным путем решения этой проблемы является увеличение пропускной способности канала сигнализации А-интерфейса.

Вторым этапом исследования является проведение алгоритма перехода с низкой скорости на высокую скорость:

Во время перехода контроллеров с LSL на HSL, необходимо ввести изменения в работу трех оборудований.

а) первое изменение конфигурации произойдет непосредственно на самом контроллере

Активация HSL:

1. В меню самого терминала BSC, выбираем:

Команды--> BSC расширение / сокращение-> Hsl активация/ деактивация

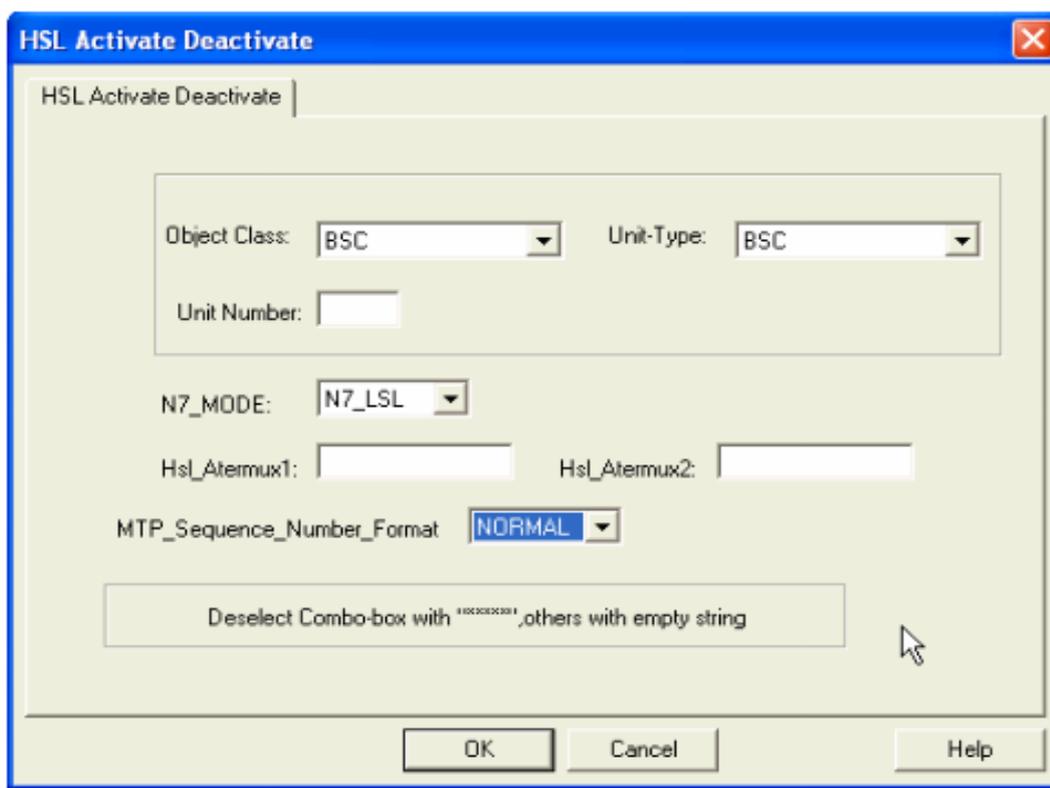


Рисунок 2.4-. Окно Hsl активация/ деактивация

2. Объект выбирается BSC
3. Блок выбирается BSC
4. Номер блока вводим 1
5. В окне модификации ОКС№7 выбирается активация HSL
6. В окне 'Hsl_Atermux1' и 'Hsl_Atermux2' вводим номера двух Atermux, куда будет прописываться HSL.
7. В окне 'MTP_Sequence_Number_Format' вводим 'NORMAL'
8. Нажимаем ОК и новые конфигурации вступают в силу на Atermux.

б) далее на контроллере происходит изменение конфигурации маршрута сигнализации:

Когда команда на активацию HSL задана на самом контроллере BSC останавливает весь трафик и перезагружается. К этому времени дистанционно на контроллере должны быть сделаны следующие действия:

а) прежде чем начинать работы надо убедиться в том, что PCM между коммутатором и контроллером подключены непосредственно кабелем

б) внесение изменений в окно "MTP_Sequence_Number_Format" должно проводиться синхронно и со стороны контроллера и коммутатора для уменьшения потерь в сервисе.

В таблице 2.1 отражены этапы работы при переходе на HSL согласно алгоритму (б)

Последующим этапом является конечный расчет основных KPI, а также сравнительный анализ, показывающий как при не изменении аппаратного средства можно выдержать большие большую нагрузки на сети во время праздников, при этом сохранив основные KPI и даже улучшить их.

После перевода 16 LSL на 10 HSL на контроллере, рассчитываются заново показатель CunSR и нагрузка голосового трафика. На рисунке 2.7 показана структурная схема прохождения сигнализации HSL.

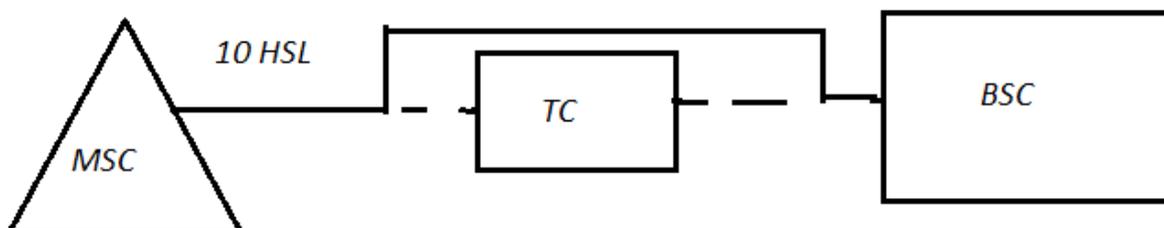


Рисунок 2.7 – Структурная схема для случая 2

Полученные данные по нагрузке и рассчитанные данные по CunSR показаны на графиках 2.3 и 2.4 соответственно.

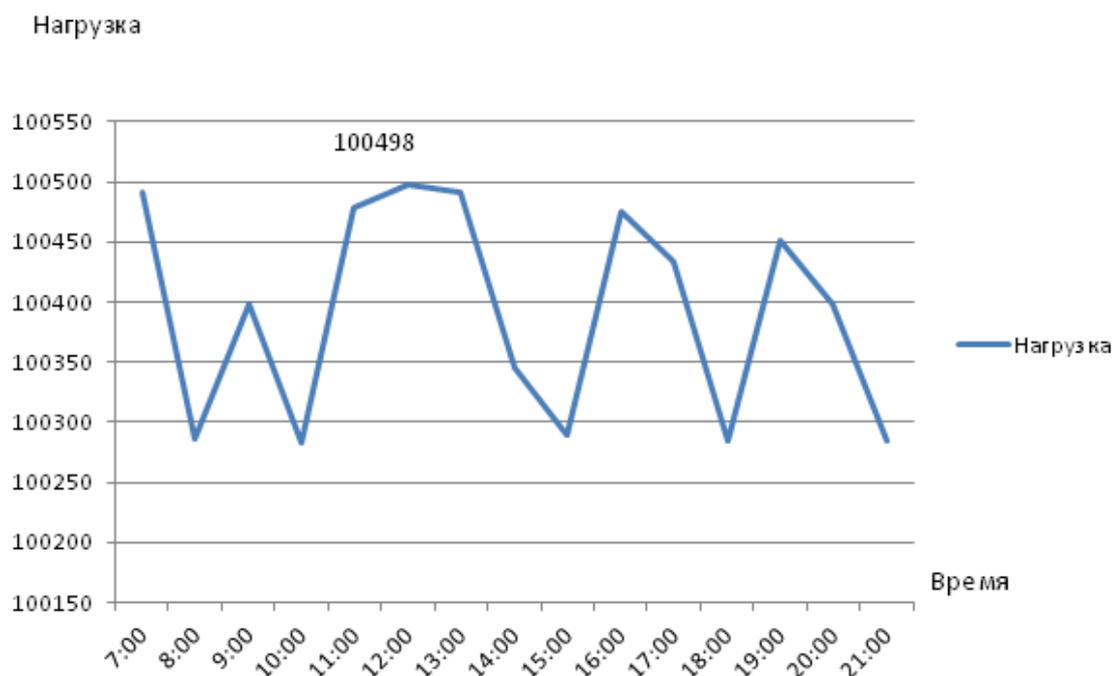


График 2.3 - Трафик голоса после перевода контроллера на HSL

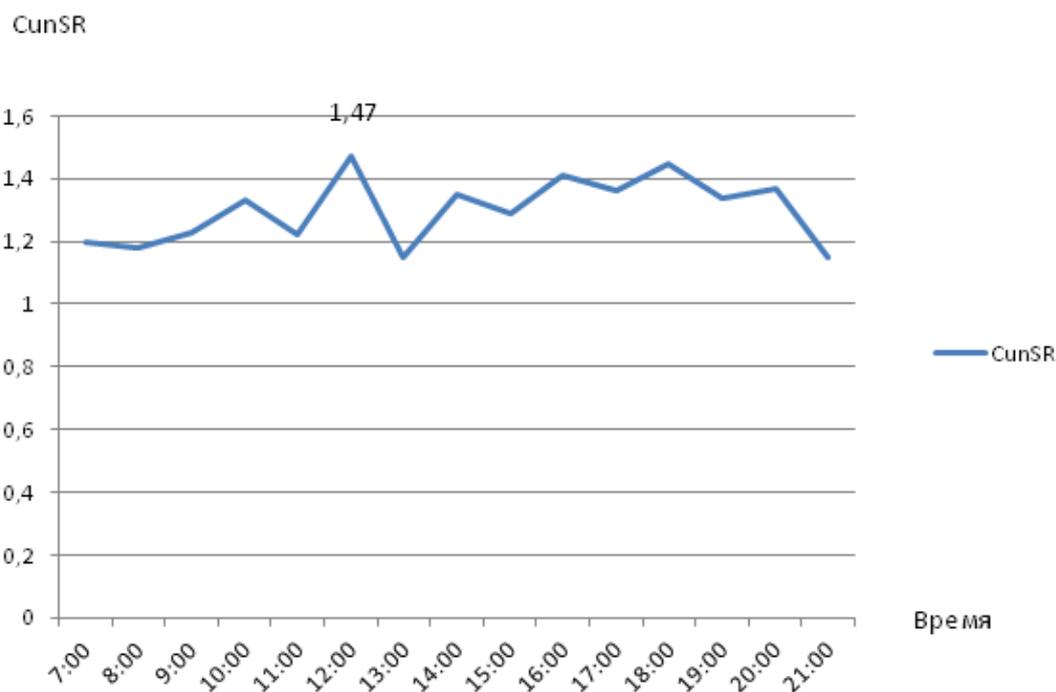


Рисунок 2.4 - Показатель CunSR после перевода контроллера на HSL

По полученным результатам можно сделать следующие выводы, что при приближение нагрузки на контроллере на максимальную нагрузку, в нашем случае 100500 звонков одновременно в течении одного часа, при соединении коммутатора и контроллера по низкой скорости, CunSR упал до 3,74%, что является недопустим для оператора связи. После того, как контроллер перевели на высокую скорость CunSR снизился на 61% и составил 1,74%. Во втором случае качество у нас отличное, но с лишними затратами. Это означает, что нужно продолжать поиск оптимального варианта.

Так, как CunSR сильно упал, теперь попробуем уменьшить количество HSL и добавить LSL. На рисунке 2.8 показана структурная схема для случая 3.

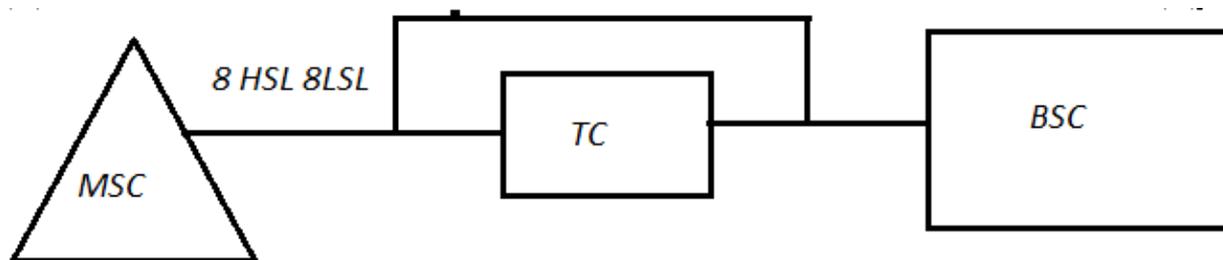


Рисунок 2.8 – Структурная схема для случая 3

Полученные данные по нагрузке и рассчитанные данные по CunSR показаны на графиках 2.5 и 2.6 соответственно.

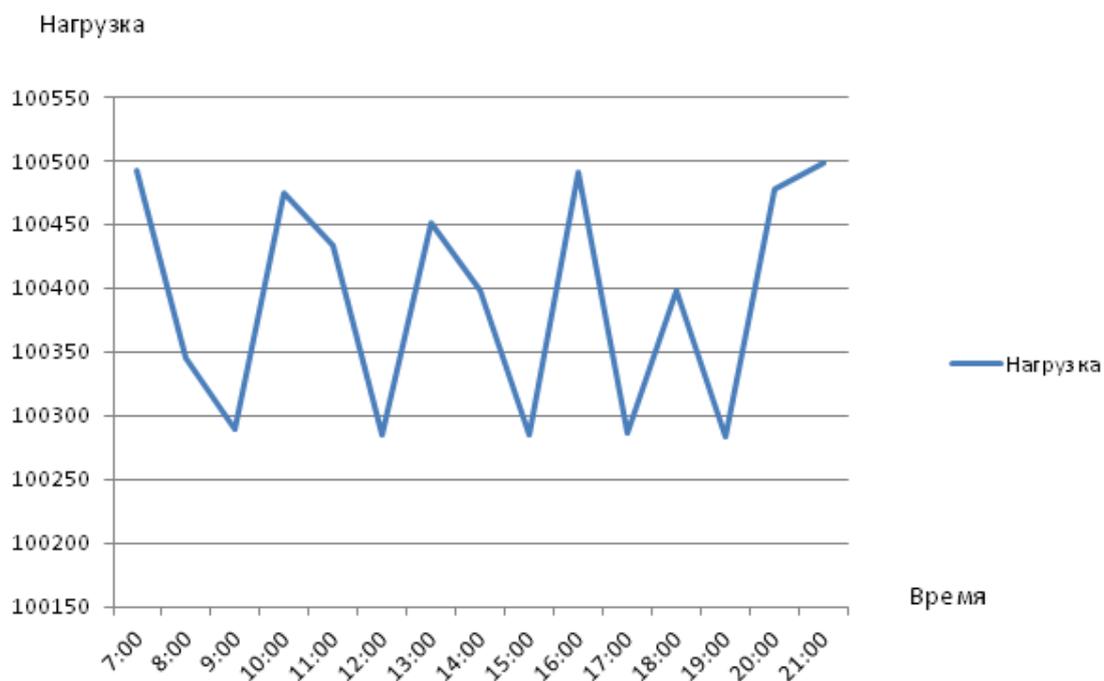


График 2.5 – Нагрузка на сеть при 8 LSL и 8 HSL

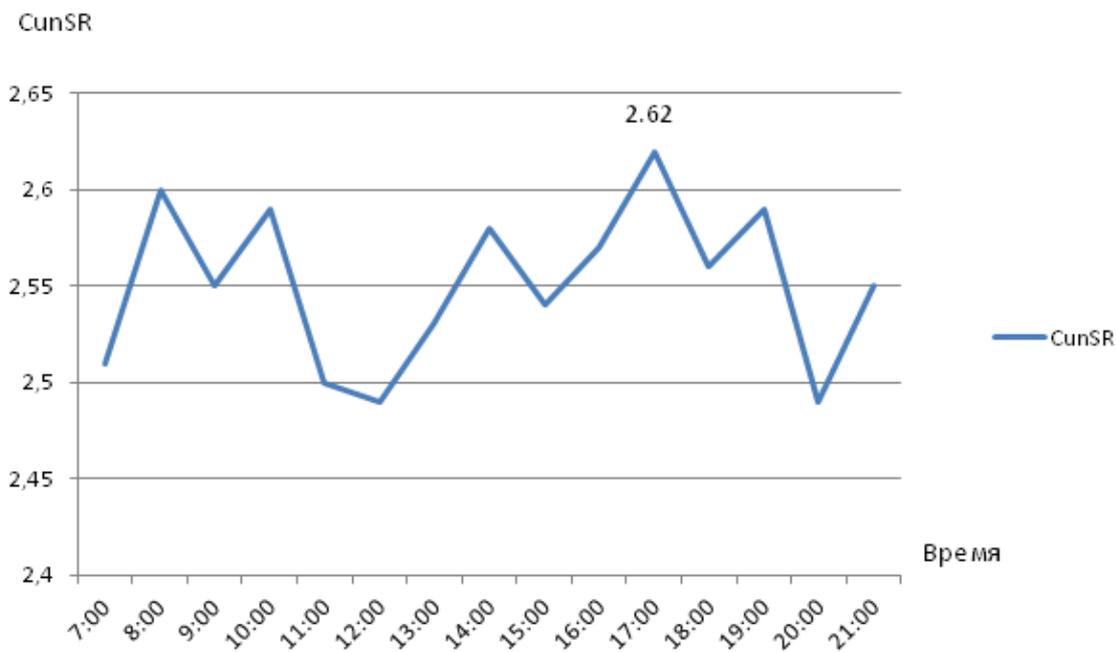


График 2.6 - Показатель CunSR после перевода контроллера на 8 HSL и 8 LSL

По полученным данным можно судить, что данного распределение недостаточное так, как CunSR превышает допустимый порог.

Значит следующее соединение будет состоять из 10 HSL и 6 LSL. Структурная схема которой показана на рисунке 2.9.

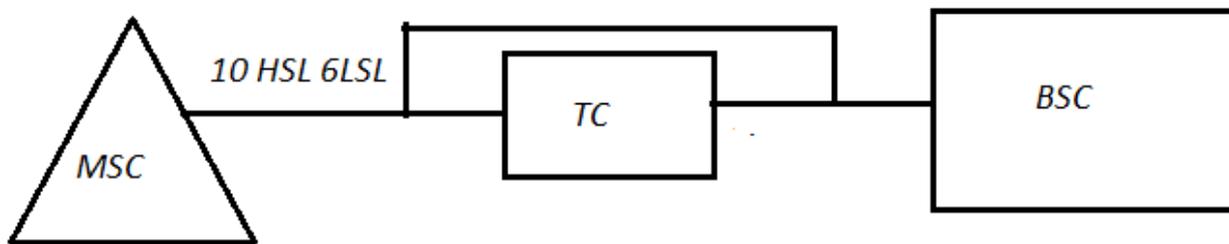


Рисунок 2.9 – Структурная схема для случая 4.

Полученные данные для случая 4 по нагрузке и рассчитанные данные по SunSR показаны на графиках 2.7 и 2.8 соответственно.

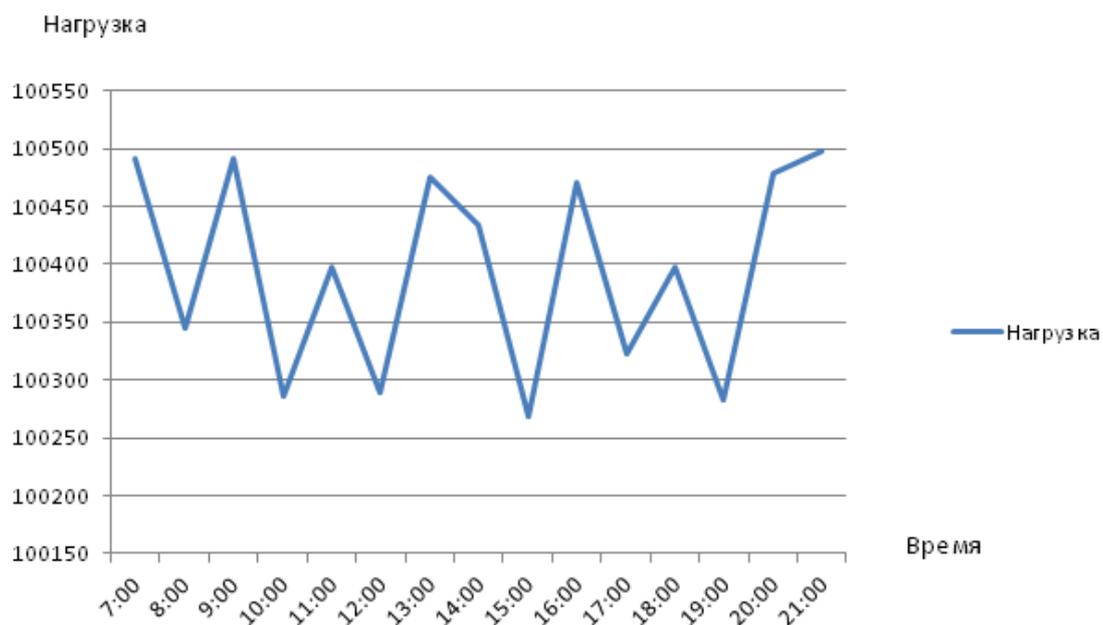


График 2.7 – Нагрузка на сеть при 10 LSL и 6 HSL

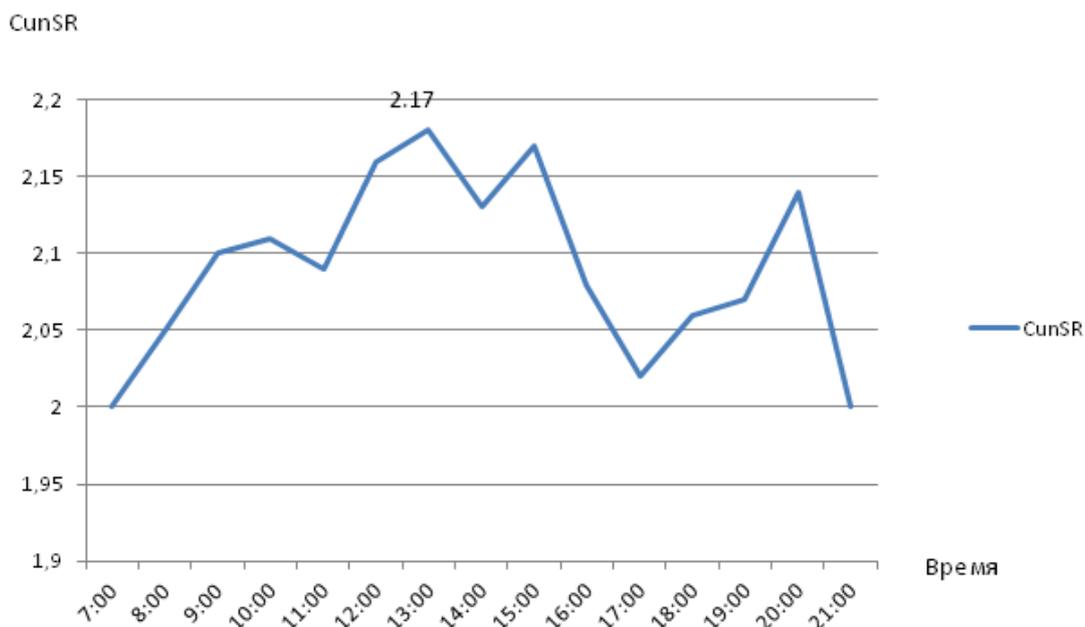


График 2.8 - Показатель CunSR после перевода контроллера на 10 HSL и 6 LSL

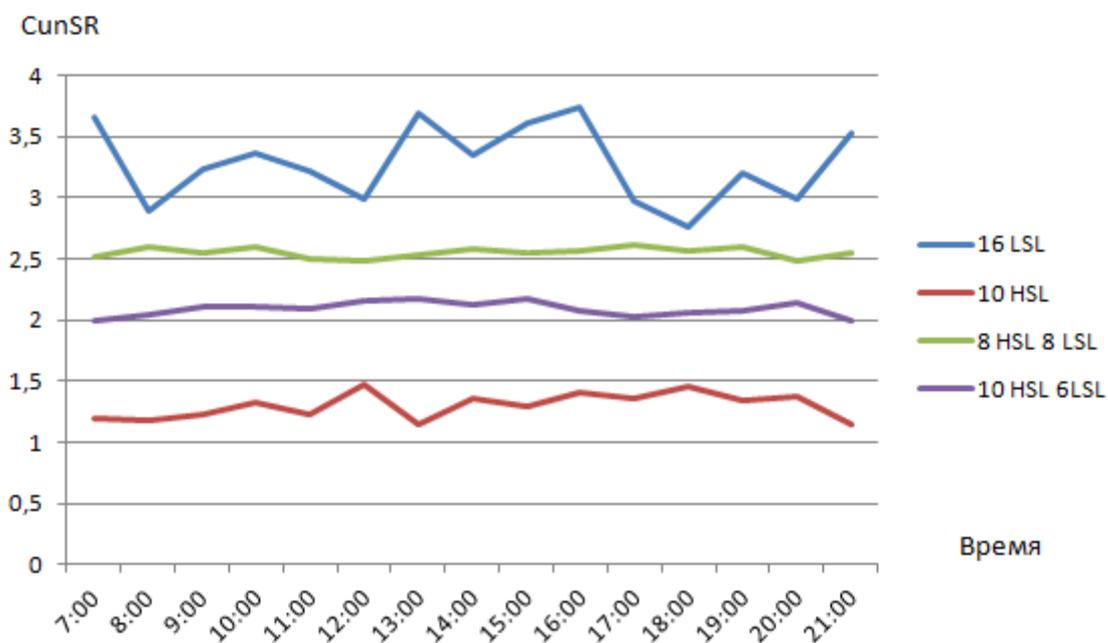


График 2.8 - Показатель CunSR для всех 4-х случаев

По полученным данным из случая 4, можно судить, что данного распределение является самым оптимальным как для оператора, так и для абонентов. CunSR составил 2.17%, что не превышает допустимых 2.2% и в тоже время минимально показал 2%, что свидетельствует о полноценном использовании канала сигнализации без убытки для оператора связи.

3 Глава Инженерный расчет

3.1 Оптические волокна для ВОСП-WDM

Для организации ВОСП- WDM используются одномодовые оптические волокна, типы которых приведены в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 - Одномодовые оптические волокна

№ п/п	Типы оптических волокон	Сокращенное наименование	Диаметры сердцевины/ оболочки	Рекомендация МСЭ-Т
1	Одномодовое ступенчатое волокно с несмещенной дисперсией (стандартное). Step index single mode fiber	SMF	$\frac{8 \div 10}{125}$	G.652
2	Одномодовое волокно со смещенной дисперсией. Dispersion-shifted single mode fiber	DSF	$\frac{8 \div 10}{125}$	G .653
3	Одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией. Non-zero dispersionshifted single mode fiber	NZDSF	$\frac{8 \div 10}{125}$	G.655

3.2 Параметры и характеристики

Совершенствование технологии производства ОВ привело к появлению в частотной характеристике λ_k (дБ/км) пяти окон прозрачности. В табл.3.2 приведены основные параметры и характеристики для трех окон прозрачности, наиболее часто используемых в современных ВОСП - WDM.

Окна прозрачности:

первое - 830 ÷ 870 нм, $\lambda_1=850$ нм;

второе - 1270 ÷ 1325 нм, $\lambda_2=1310$ нм;

третье - 1528 ÷ 1565 нм, $\lambda_3=1550$ нм;

четвертое - 1565 ÷ 1620 нм, $\lambda_4=1580$ нм;

пятое - 1325 ÷ 1425 нм, $\lambda_5=1400$ нм;

Заметим, что ОВ с несколькими окнами прозрачности выпускают пока лишь две - три фирмы. Например, волокно AllWave (фирма Lucent

Technologies) содержит четыре окна, в диапазоне 1280 нм ÷ 1620 нм ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$) - центральные частоты окон прозрачности.

Т а б л и ц а 3.2 - Некоторые обобщенные параметры одномодовых ОВ

Окна прозрачности	2 (1270 ÷ 1325)	3 (1528 ÷ 1565)			4 (1565 ÷ 1610)
Рекомендации МСЭ	G.652	G.652	G.653	G.655	G.655
Параметры					
α_k , дБ/км	0,35 ÷ 0,5	0,19 ÷ 0,35	0,25 ÷ 0,5	0,19 ÷ 0,35	0,25 ÷ 0,3
λ_{g0} , нм	1310 ± 10	1550	1550 ± 10	1529,4	
$D_{xp}, \frac{nc}{nm*km}$	3,5	18 ÷ 20	1 ÷ 3,5	2,0 ÷ 6,0	4,5 ÷ 11,0
$\delta D_{xp}, \frac{nc}{nm^2*km}$	0,092	-	0,085	<0,196	-
PMD, пс	≤0,2	0,2	≤0,5	-	≤0,5
Обозначения: α_k – коэффициент затухания; λ_{g0} – длины волны нулевой дисперсии; D_{xp} – величина хроматической дисперсии; δD_{xp} – наклон хроматической дисперсии; PMD – дисперсия поляризованной моды;					

3.3 Полоса пропускания

Полоса пропускания ОВ определяется из его модуляционной характеристики – зависимости мощности излучения P на выходе ОВ от частоты модулирующего сигнала F (рис 3.1). Из рисунка видно, что полоса пропускания волокна $\Delta F_{ОВ}$ определяется на уровне $0,5 P_{max}$, которому соответствует предельная частота полосы пропускания f_3 дБ.

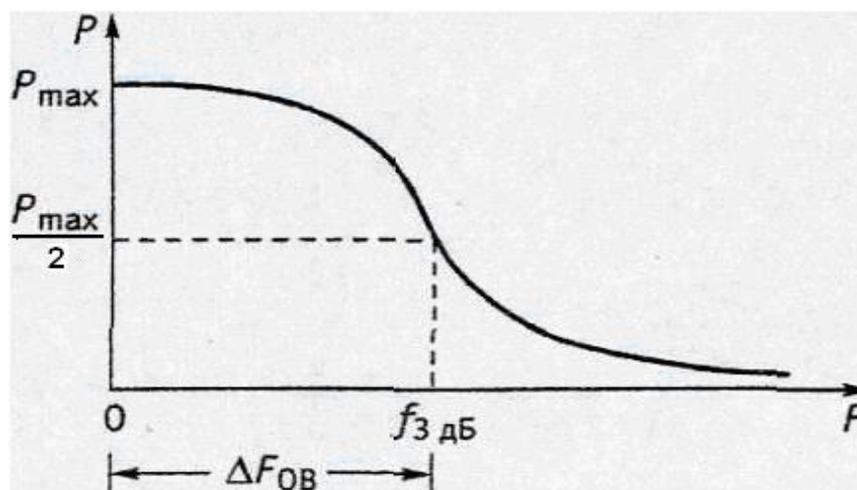


Рисунок 3.1- Модуляционная характеристика ОВ

Если оптический импульс на выходе ОВ имеет форму кривой Гаусса, то справедливо следующее соотношение:

$$\Delta F_{ОВ} \cdot L = \frac{0,187}{|D_{xp}| \cdot \sigma_l} = \frac{0,44}{|D_{xp}| \cdot \Delta \lambda_{0,5}} \quad (3.1)$$

где $D_{xp} \left(\frac{nc}{nm \cdot km} \right)$ - удельная хроматическая дисперсия;

$\Delta \lambda_{0,5}$ (нм) - ширина спектральной линии лазера на уровне половины его входной мощности;

σ_l (нм) - среднеквадратическая ширина спектральной линии лазера;

L (км) - длина связи.

На длинах волн λ_0 нулевой хроматической дисперсии (для ОВ G.652 и G.6523) полоса пропускания резко расширяется и может быть определена из соотношения:

$$\Delta F_{ОВ} \cdot L = \frac{0,616}{\delta \cdot D_{xp} \cdot \sigma_l^2} \quad (3.2)$$

где $\delta \cdot D_{xp}$ - наклон кривой спектральной характеристики хроматической дисперсии, измеряемый в пс/км·нм².

3.4 Полоса пропускная и скорость передачи

Известно, что скорость передачи зависит от формы импульса и от типа импульсной последовательности. Обычно предполагают, что импульсная последовательность - это случайный набор следующих друг за другом нулей и единиц. Для такого случайного процесса скорость передачи V и среднеквадратическая длительность импульса σ_i связаны следующим соотношением:

$$B \leq \frac{1}{4 \cdot \sigma_u} \quad (3.3)$$

Для прямоугольных импульсов связь между оптической полосой пропускания ΔF_{OB} и скоростью передачи находят из соотношения:

$$B \approx \Delta F_{OB} \quad (3.4)$$

Следовательно, в равенство (3.1) вместо полосы ΔF_{OB} можно подставить величину B .

$$B \cdot L = \frac{0,187}{D_{xp} \cdot \sigma_l} \quad (3.5)$$

Величину $B \cdot L$ часто называют «широкополосностью» OB . Для Гауссова импульса имеет место соотношение:

$$B = 1,34 \cdot \Delta F_{OB} \quad (3.6)$$

Подставив эту величину в равенство (3.3) найдем:

$$B \cdot L = \frac{0,25}{D_{xp} \cdot \sigma_l} \quad (3.7)$$

Заметим, что прямоугольный импульс, распространяясь по OB в точке приема из-за дисперсии превращается в гауссовский. Кроме того, в ряде случаев гауссовский импульс формируется лазером на выходе передатчика. При распространении по OB его форма не изменяется. Поэтому в большинстве случаев расчеты ведут по формуле (3.6).

Спектр источника излучения может быть задан согласно рекомендации G.957 либо среднеквадратической шириной спектральной линии - σ_l , либо шириной спектральной линии на уровне - 20 дБ (т.е на уровне 0,01 от максимальной мощности излучения лазера P_{max}) - $\Delta\lambda_{0,01}$, либо на уровне - 3 дБ (т.е на уровне 0,5 от P_{max}) - $\Delta\lambda_{0,05}$. Для гауссовского импульса можно найти:

$$\sigma_l = 0,425 \cdot \Delta\lambda_{0,5} \cong 0,212 \cdot \Delta\lambda_{0,01} \quad (3.8)$$

Т а б л и ц а 3.3 - Зависимость длины связи и допустимой дисперсии от скорости передачи

Тип STM	B, Гбит/с	L, км	$D_{хрдоп}$, пс/нм
STM	2,5	40	640
STM	10	30,62	490
STM	40	1,9	30,629

Если расчетные величины дисперсии больше D_{xp} доп, оставшуюся дисперсию необходимо компенсировать. Методы компенсации дисперсии рассмотрены ниже.

3.5 Волокна для компенсации дисперсии

Как следует из (3.1) и (3.2), достаточно широкие полосы пропускания одномодового ОВ могут быть получены только при малой хроматической дисперсии. При организации новых магистралей ОК с ВОСП - WDM применяют ОВ DSF, либо NZDSF (табл.3.1 и 3.2). Оптические кабели с волокнами DSF применяют для ВОСП - WDM со сравнительно малым числом каналов (4 или 8), так как при увеличении числа каналов появляются переходные влияния между ними из - за четырехволнового смешивания (FWM). Особенно это влияние ощутимо в системах с плотным расположением каналов в спектре (dense WDM - DWDM).

Для организации новых магистралей с такими системами рекомендуется использовать ОК с волокнами NZDSF. Эти волокна в диапазонах третьего и четвертого окон прозрачности могут иметь как положительное, так и отрицательное значения дисперсии. Чередую участки магистрали (например, строительные длины ОК) с положительными и отрицательными дисперсиями, можно получить среднее значение участка регенерации с $\bar{D}_{xp} \rightarrow 0$. Характеристики волокон DSF и NZDSF приведены на рис.3.2, из которого следует, что наклон всех характеристик дисперсии – положительный ($\frac{\partial D_{xp}}{\partial \lambda} > 0$), кривые имеют возрастающий характер.

В настоящее время проложено значительное количество одномодовых ОК с волокном SMF, характеристика дисперсии которого дана на рис.3.2. Это волокно в рассматриваемых окнах прозрачности обладает значительной положительной дисперсией (порядка 18 пс/(нм·км)).

Для компенсации дисперсии таких волокон разработано волокно DSF (dispersion compensation fiber), характеристика которого приведена на рисунке 3.3 ($\frac{\partial D_{xp}}{\partial \lambda} < 0$). Кривая имеет падающий характер, знак дисперсии во всем диапазоне - отрицательный. Обычное такое волокно наматывается на катушку, образуя модуль, который включается в определенных точках магистрали (например, в усилительном пункте), так что среднее значение дисперсии участка:

$$\bar{D} = D_{xp1} \cdot l_1 - D_{xp2} \cdot l_2 \quad (3.8)$$

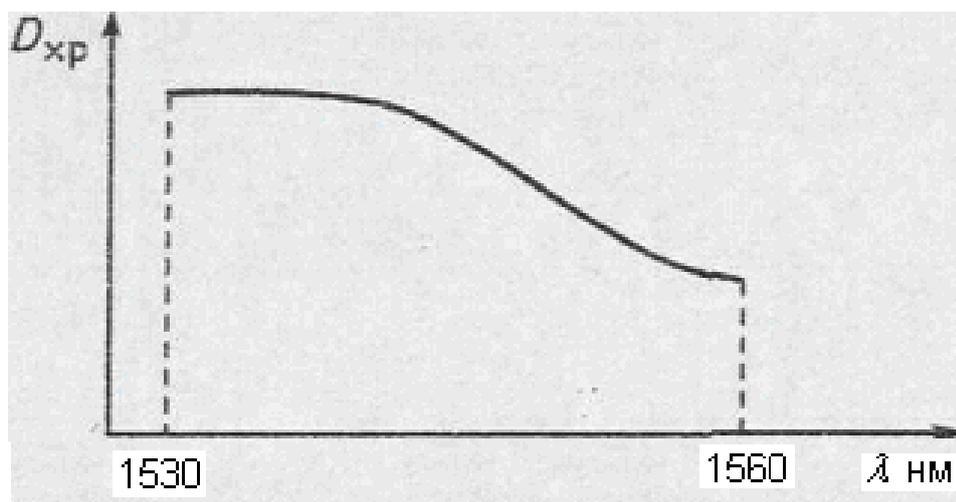


Рисунок 3.4 – Дисперсия волокна DCF

где D_{xp1} -дисперсия ОВ SMF длиной l_1 ;

D_{xp2} - дисперсия ОВ DCF длиной l_2 .

3.6 Принципы организации ВОСП

Структурная схема ВОСП - WDM, соответствующая рекомендации G.692 МСЭ-Т, приведена на рис.3.1.

Здесь TX_i , RX_i ($i=1,2,\dots,n$) - передающие и приемные транспондеры (приемопередатчика) каждого канала N - канальной ВОСП - WDM;

ОМ - оптический мультиплексор;

ОА - оптический усилитель;

ОД - оптический демультиплексор;

RX_i - контрольная точка (интерфейс) на входе i -го передающего транспондера;

ST_i - контрольная точка на выходе i - го приемного транспондера;

$S_1 \div S_n$ - контрольная точка на выходах оптических соединителей (ОС) передающих транспондеров для каналов $1 \dots n$;

$RM_1 \div RM_n$ – контрольные точки на входе ОС перед блоком ОМ/ОА;

MPI-S - контрольная точка (интерфейс) на выходе ОС после блока ОМ/ОА;

S' - контрольная точка на выходе ОС после линейного оптического усилителя LOA;

R' - контрольная точка на входе ОС перед линейным оптическим усилителем;

MPI-R - контрольная точка (интерфейс) на входе ОС перед оптическим усилителем ОА на входе оптического демодулятора ОД;

$SD_1 \div SD_n$ - контрольные точки на выходе ОС после блока ОА/ОД;

OSC - точки подключения оптического служебного канала;

OADM - мультиплексор ввода - вывода оптических каналов;

S, R - интерфейсы на выходе передатчиков и выходе приемников аппаратуры STM-N.

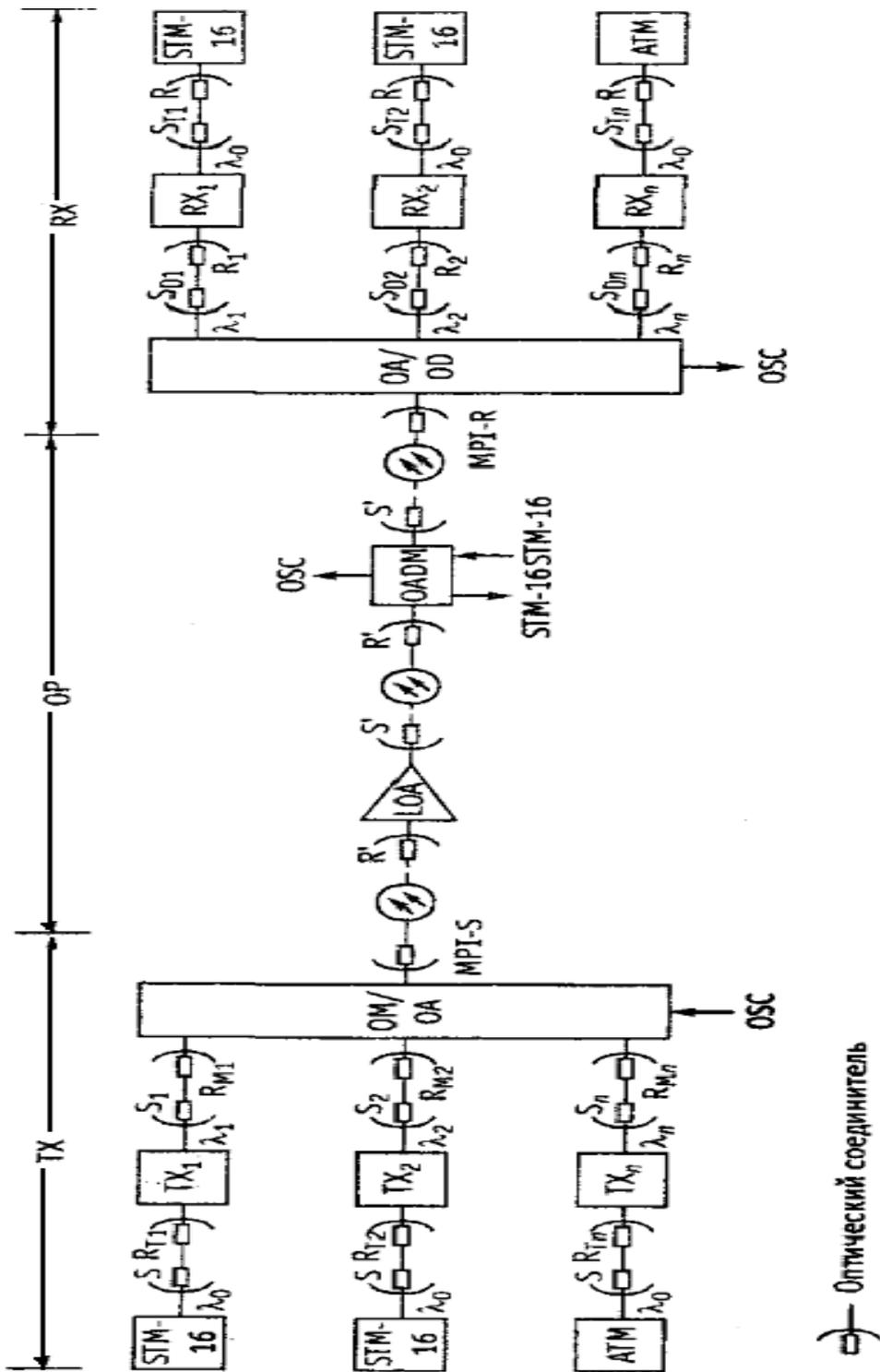


Рисунок 3.5 - структурная схема ВОСП – WDM

Как следует из рис. 3.6, структурная схема ВОСП - WDM содержит оптический передатчик (TX), оптический приемник (RX) и главный оптический тракт (OP).

Оптический передатчик содержит каналные приемопередатчики (транспондеры) $TX_1 \div TX_n$, которые, в частности, преобразуют длину волны STM-N λ_0 в длины волн спектра каналов $\lambda_1 \div \lambda_n$. Как правило, операцию преобразования выполняют конверторы, входящие в состав транспондеров. На выходе TX_i образуется каналный сигнал, спектр которого соответствует скорости передачи STM-N. Канальные сигналы, следовательно, и их спектры объединяются с помощью оптического мультиплексора (ОМ); на его выходе образуется групповой сигнал, спектр которого содержит суммарный спектр канальных сигналов:

$$\Delta f_{ГС} = \Delta f_{КС} + (n - 1) \cdot \Delta f_{нчр} \quad (3.9)$$

где $\Delta f_{ГС}$ - спектр группового сигнала;

$\Delta f_{КС}$ - спектр канального сигнала;

$\Delta f_{нчр}$ - номинальное частотное разнесение (НЧР) каналов.

Принципы выбора оптических несущих каналов $f_i = \frac{c}{\lambda_i}$ ($i = 1, 2, \dots, n$).

Групповой сигнал усиливается оконечным оптическим усилителем ОА (бустером), с помощью которого в интерфейсе MPI-S устанавливается необходимая общая средняя мощность линейного сигнала $\overline{P}_{лс}$.

Главный оптический тракт (ОТ) содержит линейные оптические усилители (ЛОА), компенсирующие затухание, вносимое участками оптических волокон длиной $l_1 \dots l_i \dots l_k$. Вместо любого из усилителей может быть включен мультиплексор ввода/вывода каналов OADM с такими же интерфейсами S' и R', как и оптического усилителя.

Приемник (RX) содержит предварительный оптический усилитель (ОА), усиливающий линейный сигнал, демультиплексор (ОД), разделяющий групповой сигнал на каналные сигналы, приемные транспондеры RX_i , в состав которых, в частности, входят конверторы, преобразующие длины волн $\lambda_1 \div \lambda_n$ в длину волны λ_0 , соответствующую STM-N.

Оптический служебный канал (OSC) организуется на длине волны, лежащей либо вне диапазона спектра WDM, либо внутри его. OSC вводится и выводится как в оптических передатчике и приемнике, так и в линейных усилителях и мультиплексорах ввода/вывода (OADM) оптического тракта.

На рис.3.6 изображена конфигурация передатчика согласно рекомендации МСЭ-Т G.681. Здесь указаны функциональные блоки STM-16, транспондеры (TX_n), мультиплексоры (ОМ/ОА), интерфейсы и оптические соединители.

Функциональные блоки STM -16:

-RST - окончание регенерационной секции;

-SPI - физический интерфейс;

Функциональные блоки транспондера:

-SPI - физический интерфейс;

-OCA - адаптация оптического канала;

- OCT - окончание оптического окончания;
 - OMS-1 - адаптация и окончание одноканальной мультиплексорной секции;
 - OAS-1 - адаптация и окончание секции оптического усиления.
- Функциональные блоки оптического мультиплексора с включенным на его выходе оптическим оконечным усилителем (ОМ/OA):
- OAS-1, OMS-1 - блоки, аналогичные блокам транспондера;
 - OMS-m - адаптация и окончание многоканальной мультиплексорной секции;
 - OAS-m - адаптация и окончание секции оконечного оптического усилителя.

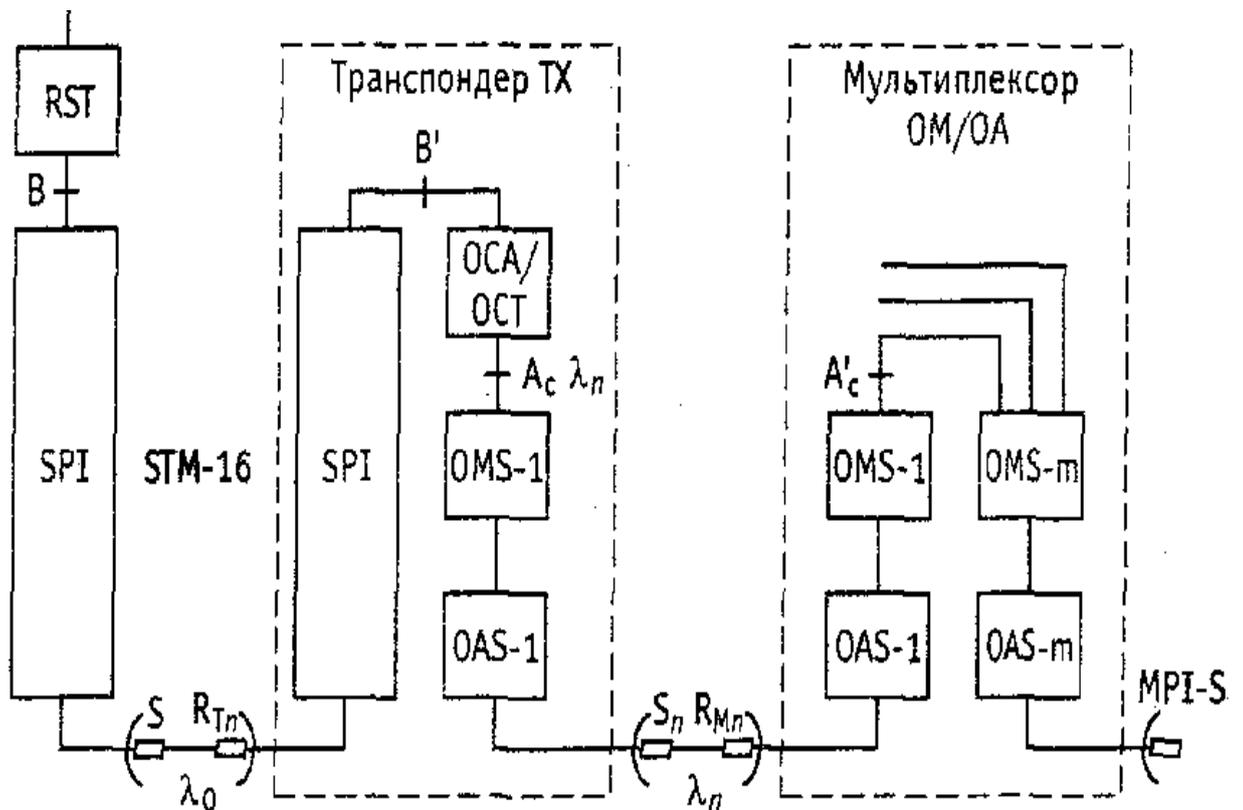


Рисунок 3.7 - Конфигурация передатчика по рекомендации G.681

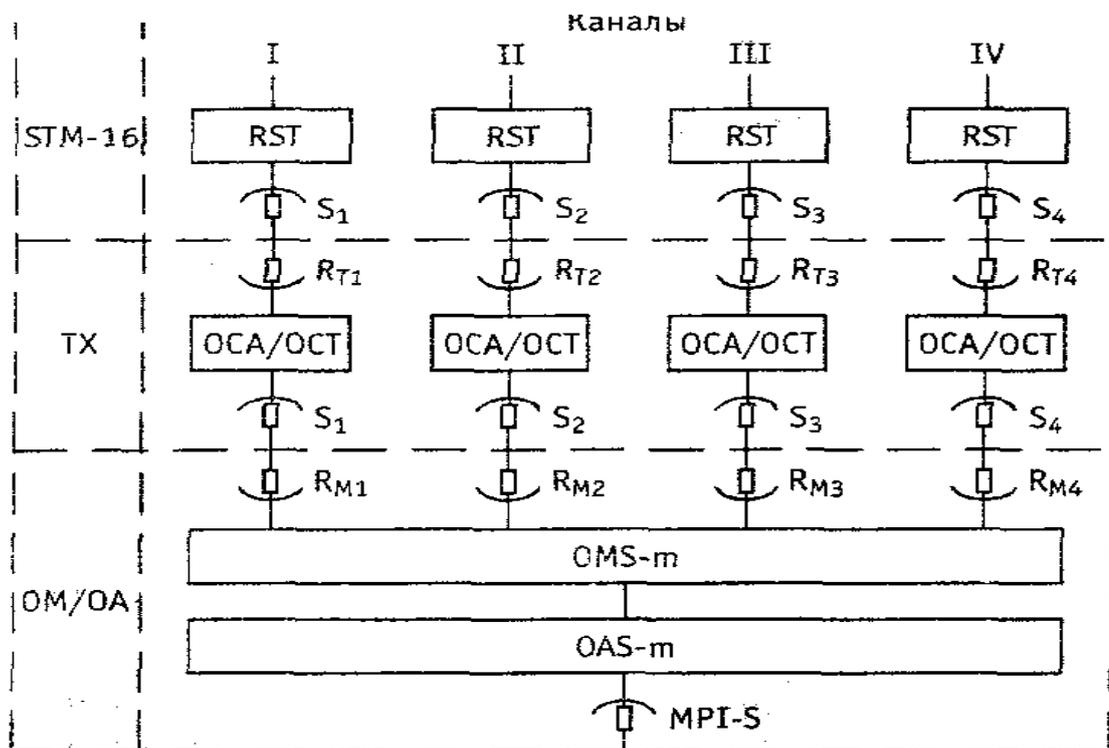


Рисунок 3.8 – Упрощенное подключение каналов ВОСП - WDM к блоку OM/OA

Допускаются упрощения схемы передатчика. В частности, окончание регенерационной секции (выход RST, точка В) можно непосредственно соединить с входом блока OCA/OCT транспондера (точка В'). Далее, поскольку преобразование длины волны λ_0 в длину волны λ_n производится в блоках OCA/OCT транспондера, допускается возможность непосредственного подключения выхода этого блока (точка А_с) к входу блока OMS-m OM/OA (точка А_с').

На рис. 3.8. показано упрощенное подключение каналов 4-канальной ВОСП - WDM к блоку OM/OA.

Здесь окончания регенерационных секций (RST) модуля STM-16 непосредственно соединены с блоками OCA/OCT транспондеров. Преобразованные в этих блоках канальные сигналы, характеризующиеся длинами волн $\lambda_1 \div \lambda_4$, объединяются в мультиплексе OMS-m ($m=4$).

Групповой оптический сигнал усиливается бустером OAS-m, который компенсирует потери, вносимые блоками OMS-m и OCA/OCT (порядка $6 \div 8$ дБ), и обеспечивает в интерфейсе MPI-S необходимую оптическую мощность. В последних разработках блоки конверторов (OCA/OCT) конструктивно могут располагаться в корзине STM-16. В этом случае интерфейсы $S_1 \div S_n$ называются «цветными».

3.7 Индивидуальные выходы - интерфейсы S1 - SN

Центральные частоты каналов f_n должны соответствовать выбранному частотному плану.

Спектральная характеристика канала определяется двумя параметрами:

- шириной спектра $\lambda_{0,01}$ оптического сигнала по уровню -20 дБ);

- отношением подавления боковых мод.

Рисунке 3.8, на котором показана зависимость мощности излучения РТХ на выходе транспондера от длины волны λ , поясняет первый параметр. Уровень - 20 дБ при пересчете относительно нормированной единицы соответствует величине 0,01.

Второй параметр определяется соотношением:

$$\eta = 10 \lg \frac{P_{\text{осн}}}{P_{\text{бок}}} \quad (3.10)$$

где $P_{\text{осн}}$, $P_{\text{бок}}$ - мощности основной и боковой мод, соответственно;

$\eta \geq 30$ дБ

Функция зависимости коэффициента усиления от $P_{\text{вых}}$ показана в приложении А, на компьютерной программе MathCad.

Ширина спектра канала определяется скоростью передачи по каналу и видом оптической модуляции.

В оптическом модуляторе, находящемся в блоке SPI (рис. 3.8) происходит прямая модуляция интенсивности. Этот вид модуляции подобен амплитудной модуляции в радиотехнике. Форма оптического сигнала на выходе модулятора показано на рис. 3.9, а его спектр – на рис. 3.10. На вертикальных осях отложены амплитуда электрического поля $A(t)$ и спектральная плотность $G(f)$, соответственно.

Как видно, из рис. 3.10 спектр канала равен:

$$\Delta f_{ch0,01} \cong 2 \cdot f_T = 2 B$$

Отклонение центральной частоты от номинального значения составляет - Δf_n . Это отклонение может происходить из - за изменения окружающих условий (температуры, влажности, давления и т.д.) и старения элементов схемы источника излучения. В рекомендации G.692 отклонение частоты нормируется в зависимости от номинального частотного разнесения (НЧР) каналов (табл. 3.4).

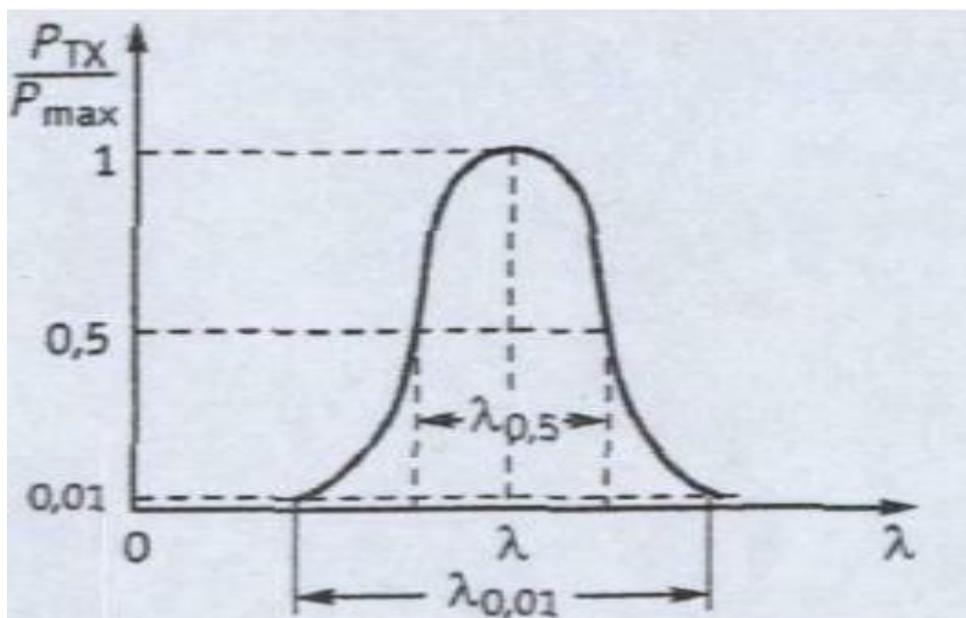


Рисунок 3.9 - К ширине спектра оптического сигнала

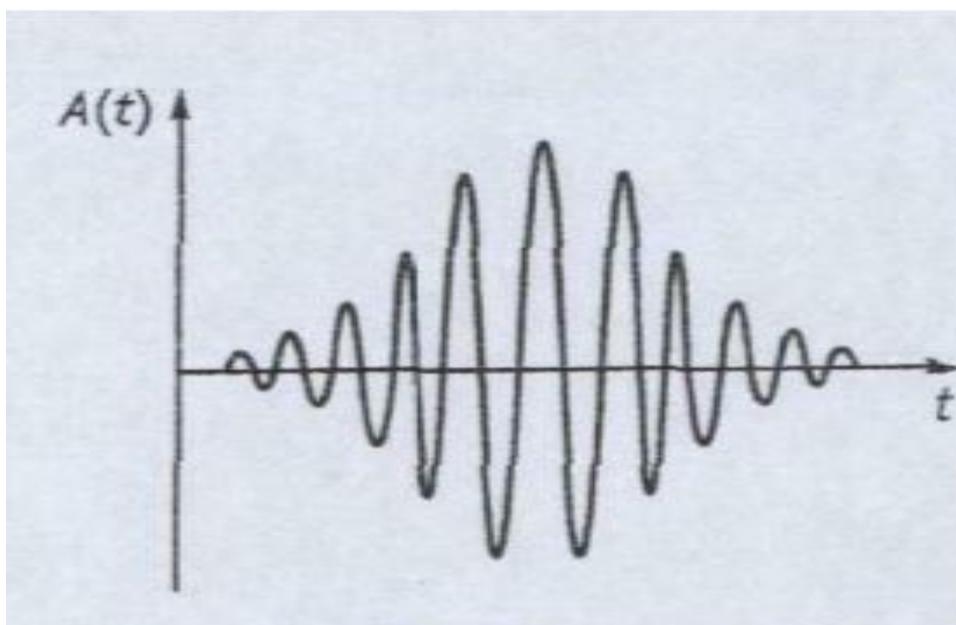


Рисунок 3.10 - Форма оптического сигнала на выходе модулятора

Т а б л и ц а 3.4 - Нормированные величины Δf_n согласно (G.692)

НЧР, ГГц	50	100	$x \geq 200$
Максимальная величина Δf_n , ГГц	?	?	$x/5$

Знак «?» означает отсутствие нормы.

Средняя передаваемая мощность P_s , дБ.

Согласно рекомендации G.957 - это усредненная мощность псевдослучайной цифровой последовательности; причем обычно нормируется

ее максимальное и минимальное значения. Их величины для STM-16 приведены в G.957. Обычно используются варианты S - 16.2 и L - 16.1.

Отношение гашения χ . Этим термином называют отношение средних мощностей при передаче единицы (P_1) и нуля (P_0), соответственно:

$$\chi = 10 \lg \frac{P_1}{P_0}, \text{ дБ} \quad (3.11)$$

$$\chi \geq 8 \text{ дБ.}$$

3.8 Индивидуальные входные порты каналов RMN

Параметры в этих портах - те же, что и в точках $S_1 - S_n$. Заметим, что средние мощности здесь могут быть меньше, так как допускается затухание между портами S_n и RM_n .

3.9 Определения и терминология

Оптический тракт (ОР) - комплекс технических средств, обеспечивающий передачу оптических сигналов со скоростью передачи, соответствующей данной ВОСП - WDM, между интерфейсами MPI-S и MPI-R (рис. 3.8).

Возможны следующие топологии ОР в ВОСП- WDM:

- «точка – точка» без выделения каналов;
- «точка – точка» с выделением каналов;
- «кольцо».

Часто для характеристики ОР используются следующие термины:

Пролет (span) - участок оптического тракта либо между передатчиком (TX) и линейным усилителем (LOA), либо между соседними LOA, либо между LOA и приемником (RX).

Секция - участок ОР либо между передатчиком и линейным регенератором (РЛ), либо соседними РЛ.

Дистанция - максимальное расстояние, на которое может быть организована данная ВОСП - WDM. Дистанция может включать в себя несколько секций, либо один или несколько пролетов.

В принципе, оптический тракт может и не содержать усилителей, и тогда его параметры определяются параметрами оптического кабеля.

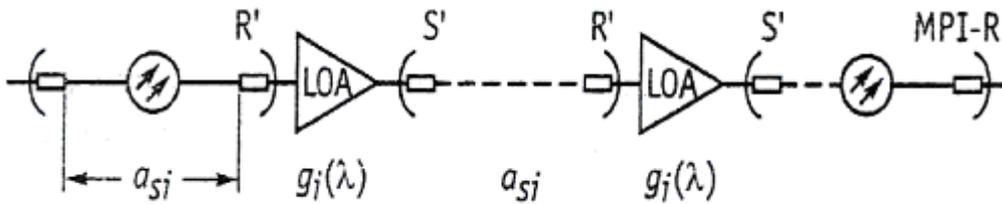


Рисунок 3.11 - Топология точка-точка оптического тракта ВОСП - WDM без выделения каналов

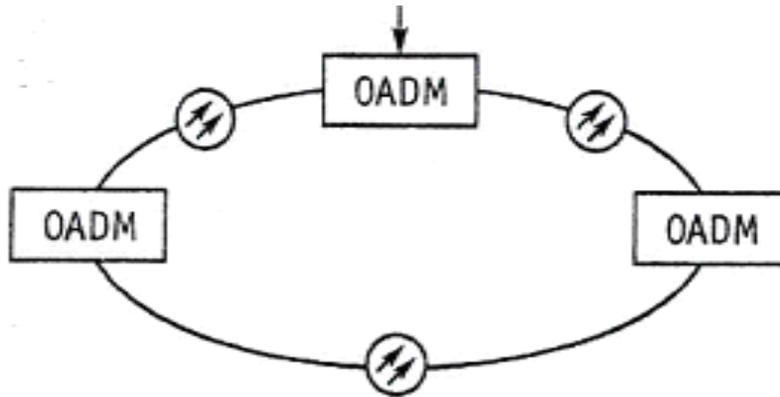


Рисунок 3.12 - Топология кольцо оптического тракта ВОСП - WDM

Однако, в большинстве случаев ОР содержит несколько LOA, и тогда возникает вопрос об их оптимальном размещении.

3.10 Размещение усилителей

Сигнал в интерфейсе MPI-S является суммой оптических цифровых сигналов, каждый из которых характеризуется периодом:

$$T_i = \frac{1}{f_i} = \frac{\lambda_i}{c} \quad (3.12)$$

где f_i , λ_i - центральные частоты и длины волн частотного плана ВОСП - WDM. В результате суммирования этих сигналов образуется аналоговый сигнал, который, распространяясь по оптическому тракту, претерпевает линейные искажения – амплитудно - частотные (АЧИ) и фазочастотные (ФЧИ).

Усилители в оптическом тракте должны размещаться так, чтобы форма сигнала на выходе оптического тракта в интерфейсе MPI-R совпадало с формой сигнала на входе ОР (интерфейс MPI-S), а оптическое отношение сигнал/помеха (OSNR) в интерфейсе MPI-R соответствовало заданной норме.

Формы сигналов на входе и выходе ОР совпадают, если выполняются условия неискаженной передачи:

$$a_{is}(\lambda_H \div \lambda_B) = g_i(\lambda_H \div \lambda_B) \quad (3.13)$$

$$D_{XP_s}(\lambda) = 0 \quad (3.14)$$

где a_{is} - затухания i -го пролета;

g_i - усиления усилителя;

D_{XP_s} - хроматическая дисперсия пролета;

λ_H - нижняя граница диапазона длин волн;

λ_B - верхняя граница диапазона длин волн;

Условие (3.13) требует равенства затухания пролета (в дБ) на длинах волн соответствующего частотного плана усилению (в дБ) усилителя на этих же длинах волн. Это условие отсутствия АЧИ Условие (3.13) является условием отсутствия ФЧИ. Оно требует равенства нулю дисперсии на всех длинах волн частотного плана, другими словами, время передачи всех спектральных составляющих сигналов в каналах ВОСП - WDM должно быть одинаковым.

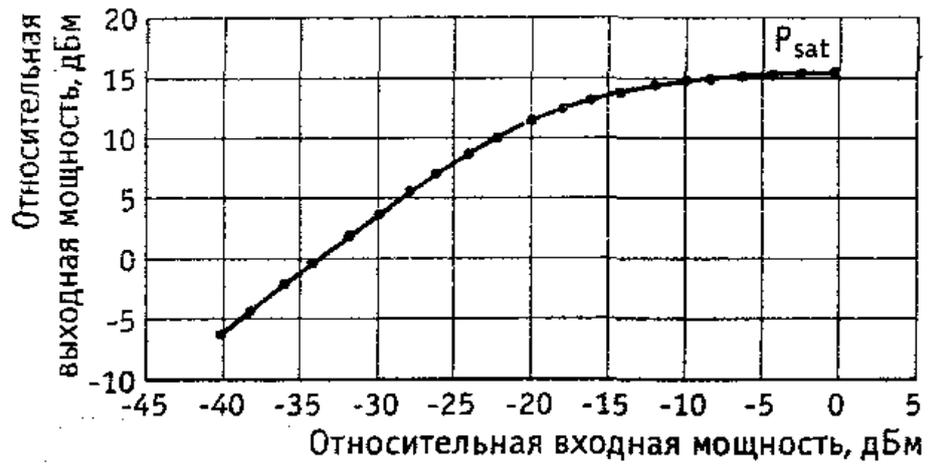
Рассмотрим принципы размещения усилителей в секции ВОСП - WDM, исходя из того, что применяемые оптические усилители содержат оптическое волокно, легированное эрбием (EDFA). Основными параметрами этого усилителя являются:

- мощность насыщения P_{sat} ;
- максимальная выходная мощность усилителя – P_{max} ;
- коэффициент усиления G (или g);

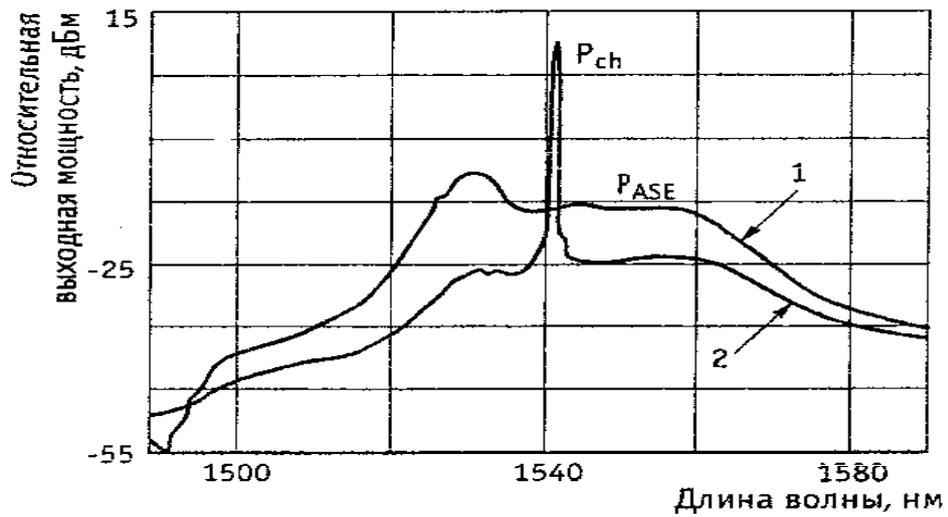
$$G = \frac{P_{св\у\х}}{P_{св\х}} \quad (3.15)$$

$$g = 10 \lg \frac{P_{св\у\х}}{P_{св\х}} \quad (3.16)$$

a)



б)



в)

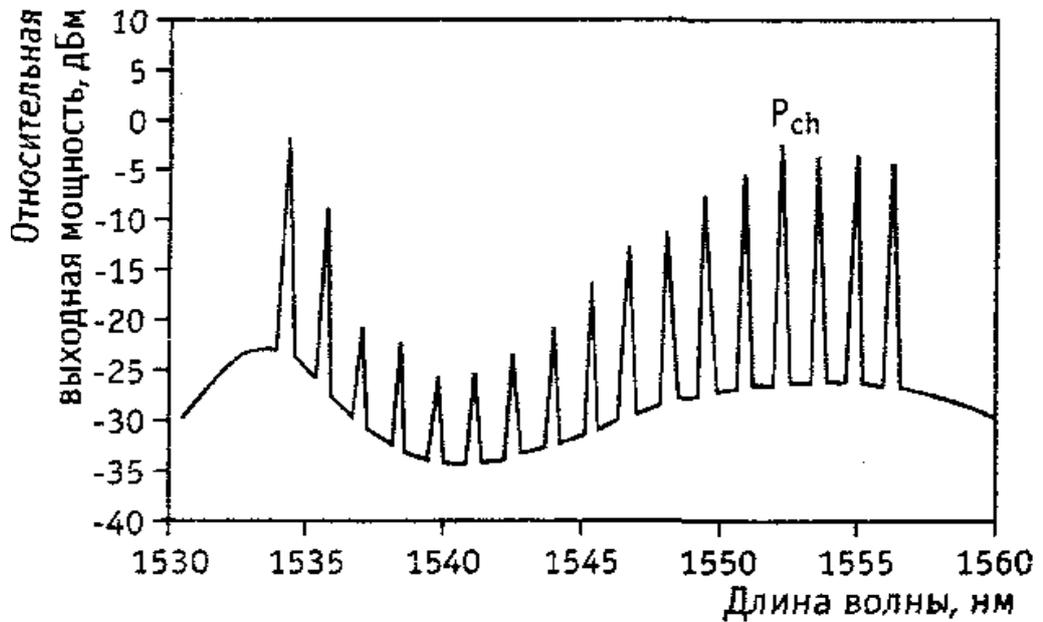


Рисунок 3.13

где $P_{св\text{ых}}$, $P_{св\text{х}}$ – мощности оптических сигналов на входе и выходе усилителя, соответственно;

- мощность усиленного спонтанного излучения (amplified spontaneous emission ASE) - P_{ASE} (рис. 3.13 а);
- коэффициент шума усилителя;

$$NF = \frac{\frac{P_{свх}}{P_{пвх}}}{\frac{P_{свых}}{P_{пвых}}} \quad (3.17)$$

где $P_{пвых}$, $P_{пвх}$ - мощности помехи на входе и выходе усилителя, соответственно;

- спектр усиливаемых усилителем сигналов Δf_y (Гц). Обычно этот спектр совпадает со спектром соответствующего окна прозрачности ОВ.

Разместим теперь линейные усилители (LOA) в секции так, чтобы выполнялось соотношение (3.17). То есть так, чтобы затухание пролета компенсировалось бы соответствующим усилением LOA. Однако, при этом необходимо учесть следующее:

- в отсутствие сигнала на входе усилителя на его выходе имеет место спонтанное излучение (ASE) значительной мощности (рис.3.13, б, кривая 1);
- при появлении на выходе усилителя сигнала одного канала, мощность ASE уменьшается (рис.3.13, б, кривая 2);
- при появлении на выходе усилителя многоканального сигнала, выходные мощности сигналов из-за неравномерности спектральной характеристики неодинаковы, что в конечном счете может привести к взаимным влияниям между каналами (рис.3.13, в).

Чтобы улучшить условия работы каналов, необходимо выравнять мощности канальных сигналов. Выравнивание мощностей канальных сигналов на выходе усилителя имеет место лишь в режиме насыщения, то есть при выходной мощности P_{sat} . Так как этот параметр у всех LOA одинаков, то, следовательно, должны быть одинаковыми и коэффициенты усиления усилителей G . Но тогда из (3.16) следует, что все пролеты должны иметь одинаковое затухание a_s . Таким образом, наиболее оптимальный режим работы секции имеет место лишь в том случае, если затухания a_s всех пролетов одинаковы, и одинаковы коэффициенты усиления линейных усилителей:

$$a_{s1} = a_{s2} = \dots = a_{si} = \dots = a_{sn} = g (\lambda_H \div \lambda_B). \quad (3.18)$$

Мощность сигнала на входе усилителя $P_{свх0}$ должна быть такой, чтобы выполнялось соотношение:

$$P_{свых} \geq P_{выхн} \quad (3.19)$$

Если мощность сигнала на входе усилителя $P_{свх} \leq P_{свх0}$, возрастает доля шума ASE в выходной мощности сигнала, если же $P_{свх} \geq P_{свх0}$, будет усиливаться только шум ASE.

Таким образом, при размещении оптических усилителей в секции нужно стремиться к тому, чтобы затухания всех пролетов были одинаковыми и компенсировались одинаковым усилением $g(\lambda_1 \div \lambda_2)$ EDFA.

3.11 Расчет отношения сигнал/помеха

Оптическое отношение сигнал/помеха (OSNR) вычисляется в интерфейсе MPI-R для одного канала N-канальной ВОСП - WDM в предположении, что помехами ASE на входе бустера можно пренебречь. OSNR можно рассчитать по формуле:

$$OSNR_R \cong P_{chs} - ASE - NF - 10 \lg N_{yc} - 10 \lg (h \cdot f \cdot \Delta f_{ch}) \quad (3.20)$$

где P_{chs} - уровень выходной мощности (дБ) одного канала в интерфейсе MPI-S;

N_{yc} - число усилителей;

NF - коэффициент шума EDFA;

h - постоянная Планка;

f - частота, соответствующая длине волны 1,55 мкм;

Δf_{ch} - оптическая полоса канала.

Величина Δf_{ch} выбирается так, чтобы информация в канале без искажений и заметных влияний со стороны соседних каналов передавалась со скоростью STM-16. При частотном плане с НЧР=100 ГГц, согласно рекомендации МСЭ G.692, канал с $\lambda_0=1550$ нм должен характеризоваться полосой 0,1 нм, что соответствует полосе $\Delta f_{ch} \approx 2,5$ ГГц. В этом случае:

$$10 \lg h f \Delta f_{ch} = 10 \lg 6.628 \cdot 10^{-34} \cdot 193.1 \cdot 10^{12} \cdot (12.5 \cdot 10^9 / 10^{-3}) \approx -58 \text{ дБ}$$

Заклучение

Развитие мобильной телефонии в течении нескольких последних лет показало экспоненциальный рост предоставляемых услуг. Такие услуги как, роуминг, интеллектуальные сети, короткие мультимедийные сообщения и т.д. являются важными составляющими для увеличения прибыли операторов связи.

Эти услуги базируются как на пропускной способности транспортной сети, так и основаны на SCCP(Signalling Connection Control Part) и на пропускной способности сигнальных линков ОКС№7. Рост потребностей сообщений, основанных на SCCP увеличивает зависимость нагрузку на LSL , и в результате показывает недостаточность пропускной способности LSL, и требует перехода на HSL. HSL каналы сигнализации - проходят в обход транскодер и на прямую соединяются с коммутатором. Это означает, что обработка сигнализации на коммутаторе будет проходит быстрее.

Для подбора самого оптимального соотношения LSL и HSL между контроллером и коммутатором были рассмотрены 4 схемы соединения. Самый подходящий из них выбирался по показателю качества сети CunSR, допустимый порог 2,2.

- 1) Если оставить 16 LSL показатель CunSR составил 3,74
- 2) Если перевести на 10 HSL показатель CunSR составил 1,47
- 3) Если перевести на 8 HSL 8 LSL CunSR составил 2,62
- 4) Если перевести на 10 HSL 6 LSL CunSR составил 2,17

По полученным результатам можно сделать следующие выводы, что при приближение нагрузки на контроллере на максимальную нагрузку, в нашем случае 100500 звонков одновременно в течении одного часа, при соединении коммутатора и контроллера по низкой скорости, CunSR упал до 3,74%, что является недопустим для оператора связи. После того, как пересчитали 3 варианта соединения вычислили, что 10 HSL 6 LSL соединение сигнализации является самым подходящим, при этом CunSR составил 2,17, доказывает, что такое соединение является самым оптимальным как для оператора, так и для абонента.

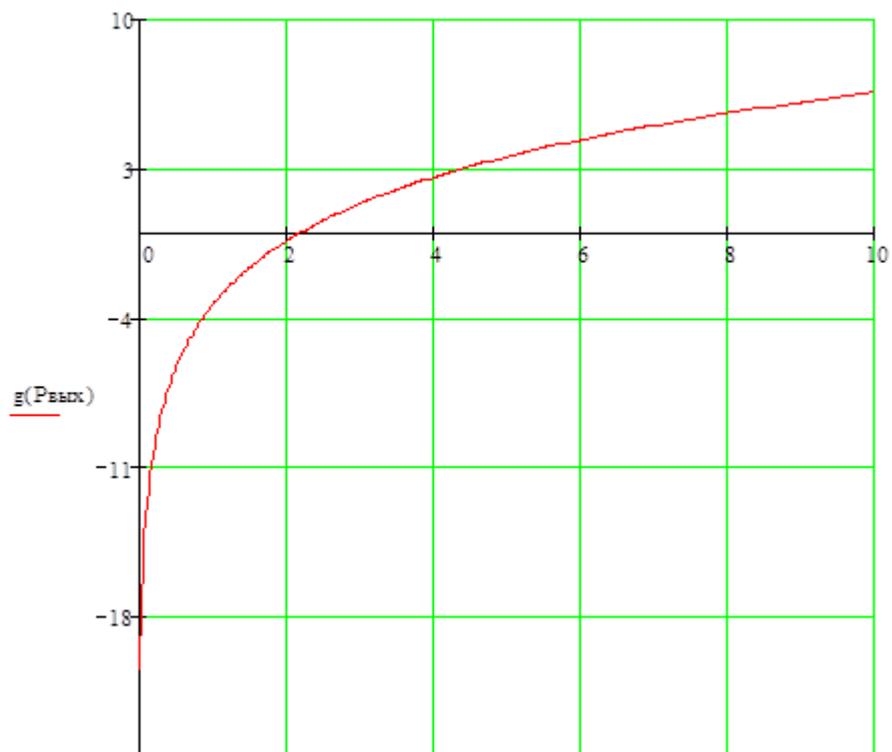
Список литературы

1. <http://www.masters.donntu.edu.ua/2010/fkita/arshinova/diss/index.htm>
2. Гольдштейн Б.С., Орлов О.П., Ошев А.Т., Соколов Н.А. Модернизация сетей доступа в эпоху NGN// Вестник связи.-2003.-№6.
3. Горнак А. xWDM в мультисервисной сети [Электронный ресурс] / А. Горнак / - Режим доступа к статье: <http://www.nstel.ru/articles/xwdm/>
4. Шемякин Д. Сети Metro DWDM: как повысить эффективность решений / - Режим доступа к статье: <http://www.iksmedia.ru/articles/261937.html>
5. Планирование цифровых систем передачи [Электронный ресурс] /: <http://masters.donntu.edu.ua/2004/kita/martyschenko/library/plan.htm>
6. Слепов Н. Особенности современной технологии WDM / Н. Слепов / - Режим доступа к статье: <http://www.electronics.ru/issue/2004/6/19>
7. Гирарт А. Сравнение технологий TDM и WDM [Электронный ресурс] / А. Гирарт / - Режим доступа к статье: <http://www.teralink.ru/?do=printt&id=54>
8. Слепов Н. Оптическое мультиплексирование с разделением по длине волны [Электронный ресурс] / Н. Слепов / - Режим доступа к статье: http://www.osp.ru/nets/1999/04/144015/_p1.html
9. Сергеев А. И снова о WDM [Электронный ресурс] / А. Сергеев / - Режим доступа к статье: <http://www.connect.ru/article.asp?id=5075>
10. http://www.infinera.com/russian/files/RU-Infinera-WP-Network_Efficiency_Quotient.pdf

Приложение А

Коэффициент усиления:

$$g(P_{\text{ВЫХ}}) = 10 \log\left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{2,2}\right)$$



Листинг программы MathCad