

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
имени Гумарбека Даукеева**

Кафедра ТКСС
«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»
Зав.кафедрой PhD, доцент Темырканова Э.К.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ « » _____ 2020г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Исследование оптических каналов передачи данных различного назначения средствами имитационного моделирования

Специальность: 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил(а): Карпыкбаев Ахан Арманович Группа РЭТ(МТС)-16-4
(Ф.И.О.)

Научный руководитель: PhD, доцент Данько Е.Т.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Консультанты:

по экономической части: к.э.н. профессор, доктор Ибришев Н.Н
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ « » _____ 2020г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности: доцент Бекбасаров Ш. Ш
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ « » _____ 2020г.
(подпись)

по применению вычислительной техники: PhD, доцент Данько Е.Т.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

Нормоконтроль: доцент Гармашова Ю.М.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ « » _____ 2020г.
(подпись)

Рецензент: _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ « » _____ 2020г.
(подпись)

Алматы 2020

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
имени Гумарбека Даукеева**

Институт Космической инженерии и телекоммуникаций

Кафедра телекоммуникационных сетей и систем

Специальность 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту: Карпыкбаеву Ахану Армановичу

(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта: Исследование оптических каналов передачи данных различного назначения средствами имитационного моделирования

Утверждена приказом по университету № 147 от «11» ноября 2019г.

Срок сдачи законченной работы «25» мая 2020г.

Исходные данные к проекту, требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта:

Модель многоканальной оптической линии моделированной по технологии WDM; модель линии доступа на оптике, длиной 3, 5, 10 км. Выходная мощность передачи: 0, 1, 2, дБм, линейное кодирование: NRZ, RZ. Результаты: BER не больше 10^{-12} , Q-фактор не меньше 10.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

1. Теоретический обзор по теме дипломного проекта.
2. Анализ моделей для имитации системы связи.
3. Моделирование каналов различного назначения в среде Optisystem.
4. Анализ результатов моделирования.
5. Рассмотрение вопросов безопасности жизнедеятельности.
6. Рассмотрение вопросов бизнес-планирования данного проекта.
7. Заключение. Выводы. Рекомендации.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): схема организации связи по технологии WDM, схема организации связи по технологии PON. Схема модельного эксперимента в среде Optisystem для магистральных линий и линий доступа различной протяженности.

Основная рекомендуемая литература:

1. Иванов В.И. Волоконно-оптические системы передачи, 2011
2. Данько Е.Т, Елизарова Е.Ю., Учебное пособие «Активные и пассивные компоненты волоконно-оптических систем передач», АУЭС, 2016
3. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи.-СПб.: «Лань», 2010
4. ITU-T Recommendations. G 983.1 – 983.3 Broadband optical access systems based on Passive optical networks
5. ITU-T Recommendations G 692. Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.
6. ITU-T Recommendations G 984.1 – 984.2. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid and CWDM wavelength grid.
7. ITU-T Recommendations G 957. Optical interfaces for equipment and systems relating to the synchronous digital hierarchy.
8. ITU-T Recommendations G 691. Optical interfaces for single Channel STM-64, STM-256 systems and other SDH systems with optical amplifiers.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Техническая часть	Данько Е.Т.	до 01.05.2020	Данько
Расчетная часть	Данько Е.Т.	до 01.04.2020	Данько
БЖД	Бекбасаров Ш. Ш	до 20.04.2020	Бекбасаров
Экономика	Ибришев Н.Н	до 01.05.2020	Ибришев
Нормоконтроль	Гармашова Ю.М.	03.06-04.06.20	Гармашова

График
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретический анализ литературного обзора	20.12.2019	
Написание теоретической главы диплома	15.02.2020	
Постановка задачи исследования, выбор имитационной модели	1.03.2020	
Моделирование каналов магистральных линий по технологии WDM	15.03.2020	
Моделирование каналов линии доступа	01.04.2020	
Расчетная часть	01.04.2020	
Анализ результатов моделирования	10.04.2020	
Расчеты по безопасности жизнедеятельности	20.04.2020	
Бизнес планирование проекта	01.05.2020	
Оформление дипломной работы	23.05.2020	
Проверка на плагиат	01.06.2020	
Оформление презентации и подготовка доклада	05.06.2020	

Дата выдачи задания «20» _сентября_ 2019г.

Заведующий кафедрой _____ (_Темырканова Э.К._____)
(подпись)

(Ф.И.О.)

Научный руководитель
проекта

Е.Т. _____)

_____ (_Данько

(подпись)

(Ф.И.О.)

Задание принял к

исполнению студент

_____ (Карпыкбаев А.А. _____)

(подпись)

(Ф.И.О.)

Аңдатпа

Бұл дипломдық жұмыста симуляциялық жабдықты қолдана отырып, әртүрлі оптикалық байланыс арналарын модельдеу зерттелді.

Магистральдық желі жолының регенерациясының есебі келтірілген.

Дипломдық жұмыс симуляция көмегімен оптикалық байланыс желілерінің кемшіліктерін ескеруге және сигнал берудің сапасын жақсартуға болатындығын көрсетеді.

Жұмыс сонымен қатар қауіпсіздік шараларын сипаттайды және жобаның техникалық-экономикалық негіздемесін сипаттайды.

Аннотация

В данной дипломной работе было исследовано моделирование оптических каналов различного назначения с помощью имитационной программы.

Также был приведен расчет регенерационного участка магистральной линии.

В дипломной работе показано, что с помощью имитационного моделирования можно учесть недостатки оптических линий связи и повысить качество передачи сигнала.

В работе также описаны меры безопасности жизнедеятельности и описано технико-экономическое обоснование проекта.

Annotation

In this research project the modeling of various optical communication channels using simulation program was investigated.

There was also given the calculation of the regeneration section of the trunk line.

The research project shows that with the help of simulation it is possible to take into account the disadvantages of optical communication lines and improve the quality of signal transmission.

The work also describes the safety measures and describes the feasibility study of the project.

Содержание

Введение	7
1 Теоретическая часть	8
1.1 Сеть следующего поколения	8
1.2 Разделение элементов управления службами в сетях доступа	8
1.3 Метод оптического доступа	10
1.4 Эволюция схем защиты PON	14
1.5 Гибридный TDMA/ WDM PON	16
1.6 OFDM PON	17
1.7 Технология CWDM	19
2 Выбор среды имитационного моделирования	26
3 Теоретический расчет для магистральной линии по технологии CWDM	30
3.1 Расчет усилительного участка интерфейса S 64-2	32
3.2 Расчет усилительного участка интерфейса V 64-3	35
4 Моделирование магистральных линий связи в среде Optisystem	36
5 Моделирование линии доступа в программе Optisystem	55
6 Безопасность жизнедеятельности	66
6.1 Краткая характеристика условий труда в офисе	66
6.2 Организация рабочего места программиста с учетом эргономических требований	67
6.3 Нормирование параметров микроклимата	68
6.4 Технические решения обеспечения безопасности	68
6.5 Расчет системы кондиционирования офиса	72
6.6 Вывод к разделу безопасность жизнедеятельности	76
7 Бизнес-план	77
7.1 Резюме	77
7.2 Анализ услуги	77
7.3 Маркетинговый план	77
7.4 Производственный план	78
7.5 Финансовый план	78
7.6 Расчет доходов от реализации услуг	82
7.7 Расчет показателей экономической эффективности	82
Заключение	84
Список литературы	85
Приложение А Справка антиплагиата	
Приложение Б Электронная версия ДП и демонстрационные материалы (CD-R)	
Приложение В Раздаточные материалы (формат А4 – листов 13)	

Введение

Общая характеристика работы. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) - это информационная сеть, в которой связующими элементами между узлами являются волоконно-оптический диэлектрик из сверхпрозрачного кварца. Оптоволоконные сети, безусловно, являются одним из самых перспективных направлений в области связи. Пропускные способности оптических каналов на порядки выше, чем у информационных линий на основе медного кабеля. Кроме того оптоволокно невосприимчиво к электромагнитным полям, что снимает некоторые типичные проблемы медных систем связи. Оптические сети способны передавать сигнал на большие расстояния с меньшими потерями [1]. В данной дипломной работе было рассмотрено моделирование оптических каналов передачи данных различного назначения.

Актуальность темы. Из года в год потребители услуг телекоммуникаций предъявляют новые требования к производителям в части более информационно емких приложений, к повышению скорости передачи данных. Это влечет за собой повышение пропускной способности каналов связи, использование новых модуляционных схем для передачи сигнала. С каждым годом растет потребность установки новых оптических каналов передачи данных. Чтобы заранее учесть недостатки линии связи, необходимо построить ее модель.

Цель дипломного проекта: исследование оптических каналов передачи данных различного назначения средствами имитационного моделирования и анализ полученных результатов.

Задачи работы:

- анализ профессионального программного обеспечения для моделирования систем связи;
- моделирование каналов различного назначения в программе optisystem;
- анализ полученных результатов и оценка качества передачи сигналов;
- описание бизнес плана и технико-экономического обоснования проекта;
- оценка безопасности жизнедеятельности;
- заключение.

1 Теоретическая часть

1.1 Услуги широкополосного доступа

Услуга широкополосного доступа быстро расширяется как практическое средство предоставления услуг. Система Triple Play является одной из практических репрезентативных услуг, которые могут интегрировать услуги передачи данных, аудио и видео. В частности, с использованием оптического доступа, который использует оптические волокна для высокоскоростной передачи видеoinформации высокого разрешения.

Широкополосный доступ включает в себя медный доступ, оптический доступ и беспроводной доступ. Когда был разработан медный доступ, такой как ADSL (асимметричная цифровая абонентская линия), система доступа была позиционирована как конкурентная основа для абонентов операторов связи. В результате достижений и практического внедрения технологий, вызванных конкурентоспособными ценами и скоростью, доступ к металлическим материалам все еще продолжает распространяться в глобальном масштабе. С другой стороны, оптический доступ является средством доступа с самой высокой скоростью и самой широкой полосой пропускания, и он распространяется в основном в Северной Америке и Азии. Интеграция пакетов в сети доступа.

В сети следующего поколения услуги предоставляются через IP-сети. IP-сеть объединяет существующие сети, которые построены на основе услуг, чтобы создать сетевую архитектуру, которая отличается высокой экономичностью с точки зрения как инвестиций, так и эксплуатации.

IP-сеть передает данные в виде пакетов. Когда телефонная служба, обеспеченная сетью с коммутацией каналов, услуга частной линии, обеспеченная сетью TDM (мультиплексирование с временным разделением каналов), и услуга радиовещания, предоставляемая с наземной передачей, интегрированы в IP-сеть, интерфейс обслуживания абонентов должен превращать передаваемую информацию в пакеты, а также обрабатывать сигнализацию в пакетах. Сервисный интерфейс также должен быть совместим с протоколами IP, такими как VoIP (передача голоса по IP), используемая в IP-телефонии, и система многоадресной передачи IP, используемая при передаче IPTV. Кроме того, межсетевое взаимодействие с существующими сетями TDM и с коммутацией каналов должно стать возможным благодаря установке шлюзов. Существующая система широкополосных подключений к Интернету также должна быть унаследована.

Переход к интеграции в IP-сети делает возможным предоставление составных услуг, таких как triple или quatro play, с помощью пакетов клиентов, так что абоненты могут пользоваться преимуществами нескольких услуг из одного физического сетевого подключения [2].

1.2 Разделение элементов управления службами в сетях доступа

Сеть следующего поколения следует рассматривать, разделив ее на два

слоя; транспортный уровень для передачи данных и уровень управления услугами для управления передачей данных. В результате недавних тенденций в FMC (фиксированная мобильная конвергенция) конвергенция услуг, таких как телефон, передача данных и видео, пересекает границы категорий с последующей интеграцией среды передачи и бизнес-носителей, и требуется контроль услуг быть независимым от транспортной системы.

Система управления услугами контролирует функции транспортной системы, формирующей сети доступа и магистральные сети, чтобы гарантировать качество обслуживания каждого приложения. Например, подсистема управления приемом ресурсов управляет и контролирует транспортную систему на основе политик и контролей сеансов. С другой стороны, транспортная система должна обеспечивать систему управления услугами с интерфейсом управления, который не зависит от отдельных сред доступа и работает в соответствии с элементами управления, применяемыми системой управления услугами. Кроме того, необходимо также упаковать функции уровня 3 или выше. Эти функции включают в себя, например, первый приоритет и контроль качества обслуживания в соответствии с типами услуг, а также контроль безопасности для подготовки к атакам вирусов и т. д.

1.2.1 Универсальность и расширяемость сетей доступа. Функциональная совместимость и расширяемость являются важными функциями для интеграции различных средств доступа. Для этой цели желательно, чтобы спецификации системы доступа соответствовали требуемым международным и отраслевым стандартам.

В области оптического доступа - соответствие спецификациям, установленным организациями по стандартизации, такими как FSAN, DSL Forum WT-101, 3GPP / IMS и ETSI / TISPAN не только облегчает взаимодействие между операторами, но также облегчает построение сетей доступа и систем управления сетями в соответствии со свойствами и режимами работы предоставляемых услуг.

По оценкам, после развития сетей и услуг среда доступа будет еще больше диверсифицироваться, поэтому важно избегать принудительного обновления системы, но позволить существующим решениям работать как можно дольше. Проектирование сетей с учетом будущего и обеспечение его расширяемости или, другими словами, правильное распределение функций управления адресами и аутентификации абонентов будут играть важную роль в решении этих проблем.

1.2.2 Конфигурация и функции систем оптического доступа. Система оптического доступа состоит из OLT (терминатора оптической линии), установленного оператором связи или поставщиком услуг, и ONU (блок оптической сети), установленного в офисе или в домашнем хозяйстве абонента (рисунок 1.1). В доме абонента домашняя локальная сеть, телевизор и телефон подключены через HGW (домашний шлюз) и STB (телевизионная приставка). Когда домом абонента является многоквартирный дом, оптическое волокно завершается в офисе зрителя, а широкополосное

соединение с каждой квартирой обеспечивается с использованием VDSL (цифровых абонентских линий с очень высокой скоростью передачи) [3].

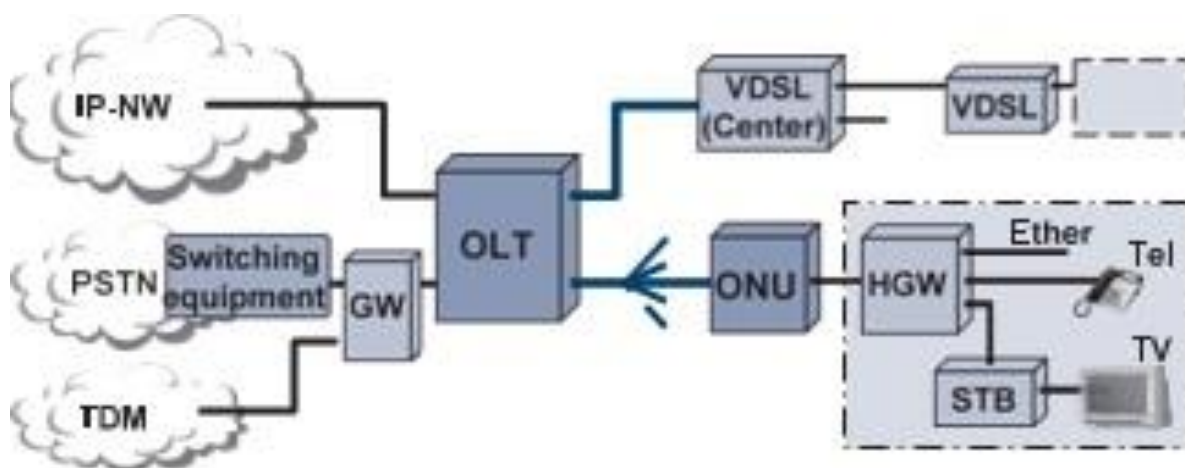


Рисунок 1.1.- Пример конфигурации системы оптического доступа

1.3 Метод оптического доступа

Оптический доступ может сделать скорости передачи по восходящей и нисходящей линиям симметричными и обеспечить высокоскоростную передачу данных на большие расстояния, которая в меньшей степени зависит от состояния линии по сравнению с медным доступом. Средой передачи является оптическое волокно, и недавний прогресс в технических разработках уже преодолел проблемы внедрения, такие как распределение линий оптического волокна и работы по установке внутри помещений.

Метод оптического доступа включает технологию SS (Single Star) и технологию PON (Passive Optical Network), и последняя в настоящее время используется более широко. Технология PON начала исследоваться в восьмидесятых годах. После A-PON (ATM-PON) и B-PON (Broadband PON) начнется коммерциализация G-PON (Gigabit-PON).

Основные функции, необходимые для системы оптического доступа, следующие:

- абонентская аутентификация. Эта функция аутентифицирует абонента после запроса соединения. ONU и OLT включают функцию аутентификации 802.1x и выполняют аутентификацию абонента в соединении с сервером RADIUS или HSS (домашним сервером подписчика).

- агрегация трафика. Эта функция собирает трафик абонента и передает его в сеть агрегации. Идентификация порта и услуги абонента выполняется с использованием VLAN или GEM (обобщенного метода инкапсуляции) в разделе от ONU к OLT и с использованием моста VLAN 802.1ad или LSP MPLS в восходящем канале от OLT.

- QoS (качество обслуживания). Эта функция обеспечивает QoS в соответствии с SLA (Соглашение об уровне обслуживания) с каждым

подписчиком. Для этой цели в системе доступа распространяются такие функции, как идентификация класса обслуживания пакетов, фильтрация, полировка, формирование и маркировка. Резервирование полосы пропускания и уменьшение задержки с помощью DBA (динамическое распределение полосы пропускания) и планирование в буфере пакетов также предоставляются как часть функции QoS.

- совместимость с устаревшими сервисами. Интеграция существующей телефонной службы требует преобразования сигнализации в H.248 или SIP (протокол инициации сеанса) и аудиосигналов в RTP (транспортный протокол реального времени) с использованием аудиокодека, такого как G.711, и G.726. Услуга TDM предоставляется посредством эмуляции канала и т. д.

- предоставление услуг. Ожидается, что управление сетью следующего поколения станет динамической конфигурацией, основанной на установлении сеансов аутентификации абонента и обслуживания, предоставляемых системой управления услугами. Поэтому система доступа должна иметь стандартный высокоуровневый интерфейс для использования при настройке множества параметров, связанных с абонентами и услугами.

Благодаря прошлому опыту разработки технологии PON разрабатываются технологии как для GE-PON, так и для G-PON.

1.3.1 GE-PON. GE-PON определяется стандартом IEEE802.3ah, который был стандартизирован в 2004 году с идеей наилучшей адаптации его к полной сетевой среде на основе Ethernet. Он реализует идентификацию ONU путем присоединения специального заголовка к обычному эфирному кадру и передачи по восходящей линии связи посредством TDMA (множественный доступ с временным разделением) [3].

В дополнение к соответствию стандарту IEEE, продукты GE-PON также имеют следующие особенности:

- более 20 км оптической передачи с использованием оптического модуля с возможностью динамического диапазона 29 дБ;
- поддержка макс. 512 ONU с одним OLT;
- предоставление нескольких методов аутентификации пользователя, включая 802.1х.

1.3.2 G-PON. G-PON определен в ITU-T-G.984 [3], который был стандартизирован с идеей не ограничивать трафик в секции PON конкретным протоколом. Для этой цели он определяет метод, называемый GEM, для инкапсуляции передаваемого трафика. Для ATM ячейки ATM могут быть отправлены или получены путем явного указания их назначения в домене передачи. Кроме того, с кадрами нисходящей линии связи сетевая синхронизация может быть достигнута путем передачи информации синхронизации каждые 125 мкс.

В дополнение к соответствию стандарту ITU-T, продукты G-PON имеют следующие особенности:

- архитектура оборудования, основанная на концепции MSAP (Multi Service Access Platform);

- нисходящая линия связи 2.5G / восходящая линия связи 1.2G с оптической спецификацией, соответствующей бюджету потерь при передаче в 20 км, который в стандарте ITU-T называется «класс В +»;

- универсальная функция VLAN и расширенная фильтрация пакетов при различных условиях, таких как MAC / VLAN / CoS / IP / Port, а также совместимость с IGMP / MLD.

Вся система способна к тройному воспроизведению, и ONU предлагает выходы Ether, POTS (обычная старая телефонная служба) и RF (радиочастота) для интерфейса пользователя.

Разработки в области фотонных технологий, оптических технологий и развертывания волоконно-оптических станций позволили значительно увеличить пропускную способность транспортной сети. За этим последовало, казалось бы, улучшение пропускной способности на стороне конечного пользователя, позволяющее обрабатывать такие сервисы с широкой полосой пропускания, как вещание HDTV, удаленное хранение, электронные услуги и сетевые вычисления.

FTTx (оптоволокно для дома / здания / помещения) - это только одна из технологий, которые в настоящее время исследуются для распространения этих широкополосных услуг с использованием беспроводных и проводных решений на основе оптоволокна и меди. FTTx - это самая перспективная инфраструктура, доступная для предоставления услуг Triple Play, использующая различные типы технологий, включая активный Ethernet и стандартные пассивные оптические сети (PON). FTTx стала всемирной сетевой архитектурой для широкополосного доступа, развернутой крупными операторами и небольшими муниципалитетами. Среди разных типов технологий PON EPON и GPON являются наиболее распространенными стандартами. EPON был разработан и формализован в стандарте IEEE 802.3ah для предоставления Ethernet для бытовых и корпоративных клиентов в сети доступа и был быстро внедрен, главным образом благодаря своей повсеместной и экономически эффективной технологии, позволяющей совместимость с различными устаревшими устройствами. EPON способен предоставлять услуги Triple Play на симметричных скоростях передачи данных 1,25 Гбит / с, используя длины волн 1490 нм и 1310 нм для передачи в нисходящем и восходящем направлениях соответственно, с длиной волны 1550 нм, зарезервированной для будущих расширений или дополнительные услуги, такие как аналоговое видеовещание максимум для 32 ONU на расстояниях до 20 км. В восходящем направлении используется типичный протокол обязательного управления доступом (MAC), позволяющий избежать коллизий данных в распределительной сети. Чтобы расширить ограничение емкости EPON с помощью скоростей передачи данных и коэффициента разделения, МСЭ-Т установил стандарты для GPON в серии G.984.

GPON настроен на предоставление полного спектра услуг и поддержку гигабитной полосы пропускания для абонентов в сети доступа. GPON предоставляет услуги triple-play при переменных скоростях передачи данных

до 2,5 Гбит/с с использованием аналогичного назначения длины волны, что позволяет операторам сети настраивать скорости передачи в соответствии с требованиями пользователя. В отличие от EPON, GPON поддерживает максимум 128 ONU для расстояний до 60 км, а также предлагает почти удвоенную эффективность использования полосы пропускания из-за меньших накладных расходов при передаче данных. Для решения проблем безопасности в нисходящем направлении GPON предоставляет усовершенствованный стандарт шифрования.

В нисходящем направлении сигналы, передаваемые от OLT, достигают пассивного оптического разветвителя и транслируются на все ONU в PON. Хотя все ONU получают все нисходящие данные из-за широковещания, устанавливаются защищенные каналы, чтобы гарантировать, что каждое ONU восстанавливает только данные, предназначенные для него. В восходящем направлении разделитель объединяет все пакеты ONU способом TDM, чтобы избежать коллизий в фидерном волокне. Следовательно, каждое ONU должно ограничивать свою передачу только заранее определенными временными интервалами, администрируемыми протоколом MAC, который может статически или динамически распределять временные интервалы между ONU.

Основная функция протоколов MAC состоит в том, чтобы выделять постоянные временные интервалы для каждого ONU через регулярные периоды независимо от его требований к полосе пропускания. Однако практическим ограничением постоянных протоколов TDM является продемонстрированная неэффективность при назначении временных интервалов, поскольку независимо от того, являются ли ONU сети тихими или демонстрируют низкую нагрузку трафика посредством умеренной производительности очереди в буфере, одинаковые постоянные временные интервалы назначаются при каждом цикле работы, что указывает на то, что доли выделенных временных интервалов остаются незанятыми и, что не менее важно, не могут быть переведены в требуемые ONU с высокой пропускной способностью. В последнем случае случайные пакеты должны быть буферизованы для различных циклов опроса, поскольку их требования к емкости превышают относительную назначенную полосу пропускания. Для преодоления этих недостатков были разработаны протоколы динамического распределения полосы пропускания (DBA) для повышения эффективности передачи и уменьшения задержки пакетов за счет динамического распределения временных интервалов восходящего потока в соответствии с требованиями полосы пропускания ONU и общей пропускной способностью сети.

Чтобы обеспечить выделенную полосу пропускания для каждого абонента, предоставляя виртуальные двухточечные соединения между OLT и каждым абонентом, где управление временным интервалом не требуется, мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM) -PON было тщательно исследовано как жизнеспособное решение для оптического доступа следующего поколения, обеспечивающего также большую

безопасность и прозрачность протоколов. Однако экономическая модель для плотно внедренного развертывания PON в доступе еще не оправдалась, в основном из-за высокой стоимости компонентов в ONU и OLT. Следовательно, исследовательские усилия были сконцентрированы в создании улучшенных PON-архитектур, сочетающих преимущества мультиплексирования по времени и длине волны для обслуживания большего числа клиентов путем назначения большего количества клиентов на каждой длине волны и для совместного использования сетевых ресурсов среди большего количества PON, таким образом увеличивая эффективность затрат и доход от вложенных ресурсов. В то же время они допускают минимальную модификацию в ONU и за ее пределами при обновлении до PON с высокой степенью проникновения. В поисках другого потенциально экономически эффективного решения для гибкого высокоскоростного оптического доступа был также изучен грубый WDM (CWDM) с использованием до 18 каналов, 20 с интервалом в 1 нм, что позволяет устройствам CWDM использовать по меньшей мере 7 нм полосы пропускания вокруг каждого из грубых каналов. Такие широкие каналы ослабляют допуски на тепловое управление и требования к оптическим потерям, что позволяет снизить сложность сети и гибкое управление энергопотреблением сети соответственно.

1.4 Эволюция схем защиты PON

Для обеспечения надежного предоставления услуг через PON было предложено несколько схем защиты, которые можно разделить на три этапа развития [4]. На первом этапе архитектуры защиты были стандартизированы МСЭ-Т в конце 90-х годов. Они основаны на дублировании сетевых ресурсов и называются типами А, В, С и D в зависимости от того, какие элементы сети, например, фидерное волокно (FF), оптические интерфейсы на OLT, ресурсы PON и FF и Распределительные волокна (ДФ), независимо, дублируются соответственно. Тип D предоставляет конечным пользователям полную или частичную защиту, называемую типом D1 или D2 соответственно.

Среди различных типов, Тип С и Тип D1 предлагают относительно высокую производительность надежности, требуя дублирования всех сетевых ресурсов (и стоимости инвестиций) для реализации функции защиты, что может привести к капитальным затратам (CAPEX), которые могут быть слишком высоки для чувствительных к стоимости сетей доступа.

Поэтому на втором этапе эволюции схемы защиты PON были предприняты усилия по разработке экономически эффективных архитектур для снижения затрат на развертывание.

Следуя тенденции минимизации затрат на конечного пользователя, помимо рассмотрения вопроса о сокращении капитальных вложений, третий этап эволюции схем защиты PON, вероятно, приведет к сокращению эксплуатационных расходов (OPEX). Между тем, OPEX связан как с архитектурой защиты, так и со стратегией обслуживания. Следовательно,

каждая архитектура защиты PON должна оцениваться с помощью всестороннего анализа надежности, а также исследований CAPEX и OPEX.

1.4.1 Последние архитектурные решения защиты PON. В этом разделе мы рассмотрим некоторые недавние схемы защиты PON, где усилия были направлены на экономически эффективные решения. Эти последние архитектурные решения соответствуют второму этапу развития защиты PON. В рассмотренных схемах соседние ONU защищают друг друга, используя соединительные волокна (IF) между смежными ONU в TDM PON, WDM PON и гибридном WDM / TDM PON соответственно. Следовательно, можно избежать затрат на захоронение избыточных DF.

На рисунке 1.2 показана архитектура защиты выделенного канала 1: 1, предложенная для TDM-PON. Два географически разделенных волокна обеспечивают специальную защиту от разреза FF между OLT и RN. Кроме того, каждые два соседних ONU формируют пару для реализации специальной защиты DF. Это схема защиты, основанная на IF между соседними ONU в PON TDM. Каждое ONU содержит оптический коммутатор (OS) для инициирования восстановления после сбоя DF. Если между ONU и RN происходит разрыв волокна, ONU-1 обнаружит потерю мощности сигнала нисходящего потока, и ОС будет запущена с порта 1 на порт 2. Таким образом, соответствующий IF между портом 2 ОС в ONU-1 и N-м выходе RN работает как для восходящего, так и для нисходящего трафика, связанного с ONU-1. ONU защищен аналогичным образом через соединительный порт IF 2 ОС в ONU с выходом N-1 на RN [4].

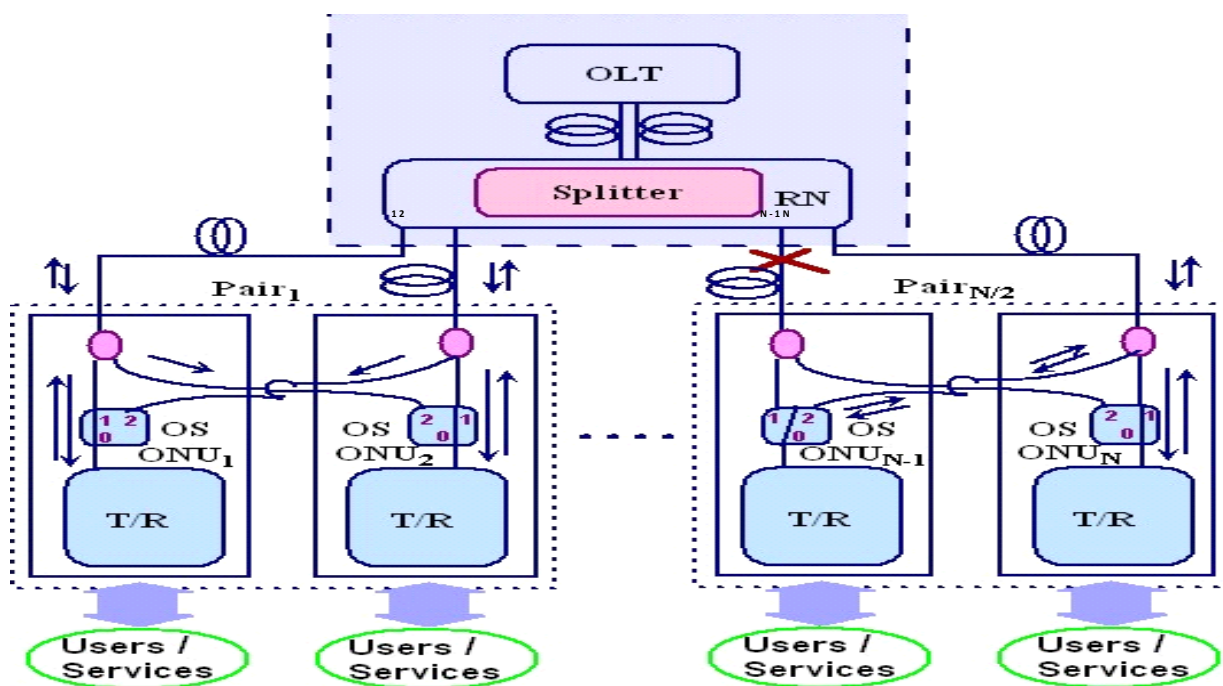


Рисунок 1.2 - TDM PON с защитой канала 1: 1

1.5 Гибридный TDMA / WDM PON

Гибридный WDM-TDM PON, в котором применяются различные технологии мультиплексирования, не зависящие от длины волны или бесцветные, еще больше сократят затраты на внедрение и обслуживание.

Бесцветная технология с повторным использованием длины волны налагает физическое ограничение в гибридной WDM-TDM на то, что одна и та же длина волны используется для передачи как восходящего, так и нисходящего трафика. Интеграция методов WDM и TDM, применяемых в PON, приводит к PON WDM-TDM, в котором развернуто несколько длин волн, и каждая длина волны распределяется через TDM между несколькими ONU, а не назначается одному ONU. Таким образом, WDM-TDM PON представляет собой экономичный этап обновления с TDM PON до WDM PON, предлагая как высокую пропускную способность, так и эффективность использования ресурсов.

Проектирование и развертывание гибридного WDM-TDM PON сталкиваются со многими проблемами. Его архитектура должна позволять динамически назначать длины волн разным ONU, а алгоритмы планирования трафика должны иметь возможность динамически выделять не только длины волн, но и временные интервалы ONU на основе условий трафика и доступных ресурсов, то есть выполнять динамическое распределение длины волны и распределение полосы пропускания (DWBA). Бесцветная технология ONU с повторным использованием длины волны используется для достижения более рентабельного развертывания с использованием отражающего полупроводникового оптического усилителя (RSOA) вместо перестраиваемого передатчика длины волны в ONU.

В гибридной архитектуре WDM-TDM PON, в которой применяются технологии бесцветного / многократного использования длины волны, в CO развернут только массив передатчиков (Tx), а каждое ONU оснащено настраиваемым оптическим фильтром (TOF), приемником (Rx) и, возможно, RSOA, как показано на рисунке 1.3.

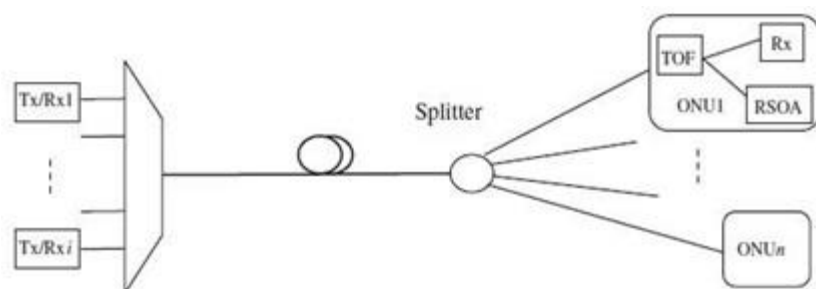


Рисунок 1.3 - Гибридная архитектура TDMA / WDM PON

В этой архитектуре используется разветвитель, который позволяет всем длинам волн достигать каждого ONU, так что ONU может присоединяться к другим ONU, выбирая ту же самую длину волны. TOF развертывается в ONU

для выбора длины волны нисходящего потока. Более одного ONU может выбирать одну и ту же длину волны, и это позволяет динамически распределять ресурсы длины волны и временного интервала между ONU в сети.

В гибридных PDM WDM / TDM оптический лазер используется для генерации оптических сигналов с несколькими длинами волн. В зависимости от способности генерирования длины волны существует три основных класса лазеров: мнговолновые лазеры, лазеры с заданной длиной волны и лазеры с перестраиваемой длиной волны.

Мнговолновые лазеры используются в OLT для генерации нисходящего трафика или начальных оптических сетевых блоков (ONU) с оптическими сигналами для их восходящей передачи данных. Вместо генерации нескольких длин волн лазер с заданной длиной волны может излучать только одну конкретную длину волны.

Перестраиваемые по длине волны лазеры способны генерировать несколько длин волн, но только одну длину волны за раз. По сравнению с лазерами с фиксированной длиной волны перестраиваемые лазеры обладают преимуществами в двух основных аспектах. Во-первых, с точки зрения сетевых операторов, перестраиваемые лазеры позволяют использовать свойство ONU без цвета, что дополнительно упрощает управление запасами, снижает затраты на резервирование и обеспечивает автоматическую настройку длины волны. Во-вторых, с точки зрения уровня MAC, перестраиваемая длина волны настраиваемых лазеров облегчает статистическое мультиплексирование трафика со всех ONU, таким образом, потенциально обеспечивая лучшую производительность системы. Благодаря этим преимуществам лазеры с перестройкой длины волны являются перспективными генераторами источников света для гибридных WDM / TDM.

1.6 OFDM PON

Технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) использует несколько поднесущих с низкой битовой скоростью линии для одновременной передачи различных символов QAM. Когда схема используется для обеспечения множественного доступа (OFDMA), разные пользователи назначаются разным поднесущим OFDM. Недавно OFDM также проникло в мир оптики, как в базовых, так и в сетях доступа.

В OFDM высокоскоростной поток данных преобразуется в параллель нескольких низкоскоростных потоков. Низкоскоростные потоки преобразуются из частотной области во временную область посредством обратного быстрого преобразования Фурье (IFFT), а затем объединяются для передачи сигнала. Из-за природы преобразования Фурье, поднесущие, переносящие потоки данных с низкой скоростью, ортогональны друг другу, т.е. перпендикулярны. На стороне приемника принятый сигнал преобразуется обратно из временной области в частотную область посредством быстрого

преобразования Фурье (FFT). Искажения сигнала могут быть компенсированы путем выравнивания сигнала в частотной области.

Практическая реализация OFDM-PON использует передачу ортогональных поднесущих, реализованную посредством IFFT и FFT, показанную на рисунке 1.4. Усовершенствованный DSP обеспечивает практическую, экономичную и многопользовательскую реализацию.

Поднесущие OFDM могут динамически назначаться услугам в разных временных интервалах. При правильном проектировании распределений поднесущих прозрачные каналы могут быть зарезервированы в пределах общей полосы пропускания сигнала OFDM, что может использоваться для независимой передачи различных услуг. На рисунке 1.4 показан пример OFDM-PON с прозрачными каналами для множества услуг. Поднесущие зарезервированы в качестве двух прозрачных каналов для традиционных услуг ТОМ (T1/E1) бизнес-сферы и радиосигнала RF от мобильной базовой станции.

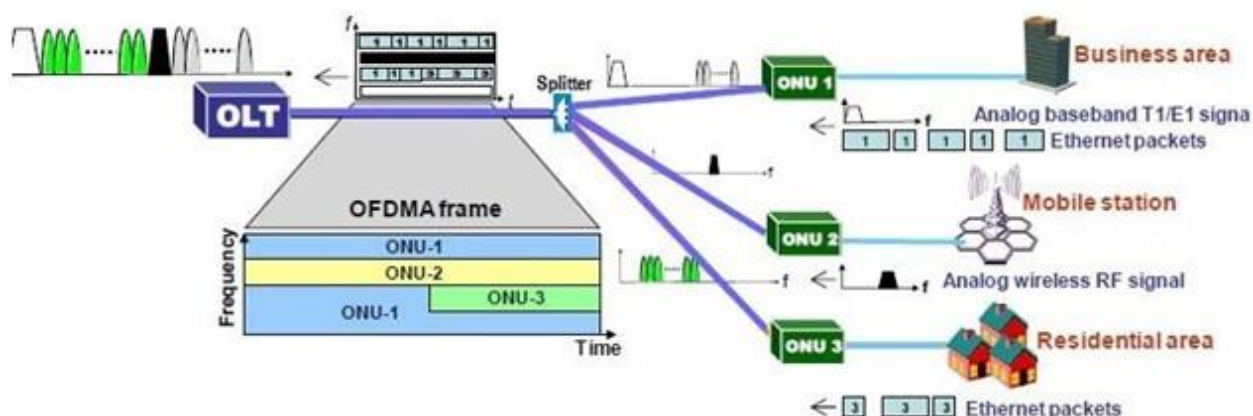


Рисунок 1.4 - Архитектура OFDMA PON для предоставления гетерогенных услуг

Количество поднесущих каждого прозрачного канала зависит от полосы пропускания, требуемой услугой. Остальные поднесущие распределяются для трафика IP на основе пакетов, разделяемого между ONU-1 и ONU-3, как по частоте, так и по временной области. Выделение поднесущих и временных интервалов управляется терминалом оптической линии (OLT) и отправляется в ONU по незарезервированным поднесущим в предварительно сконфигурированных временных интервалах.

Для завершения передачи в нисходящем направлении кадр OFDM и любые другие аналоговые сигналы смешиваются электрическим соединителем для возбуждения оптического модулятора. На стороне ONU каждое ONU выбирает свои собственные данные или сигнал из своих предварительно назначенных поднесущих и / или временных интервалов, как сообщается планировщиком OLT. Для передачи восходящего трафика каждый ONU отображает свои данные и / или сигнал на свою назначенную

поднесущую (ие) OFDM, обнуляет все оставшиеся поднесущие и выполняет модуляцию OFDM для генерации полного кадра. Для передачи в восходящем направлении каждое ONU отображает свои данные и / или сигнал на свою назначенную поднесущую (ие) OFDM, обнуляет все оставшиеся поднесущие и выполняет модуляцию OFDM для генерации полного кадра. Также отмечается, что ONU с различными услугами и скоростями передачи данных могут поддерживаться в гетерогенном OFDMA-PON, что может помочь достичь высокой степени гибкости сети и эффективно управлять затратами.

1.6.1 Основные преимущества передачи OFDM PON. OFDM PON рассматривается как очень многообещающее решение для будущего доступа на основе PON благодаря его преимуществам, которые можно резюмировать следующим образом:

- до 100 Гбит / с / λ нисходящая передача;
- до 100 Гбит / с / λ в восходящем направлении;
- дальность до 100 км;
- эффективность затрат;
- гибкая архитектура;
- стабильная, точная работа на основе DSP;
- адаптивная модуляция и FCE на абонентской основе;
- динамическое распределение ширины полосы по времени и частоте;
- прозрачность для произвольных услуг;
- оптически прозрачные ONU.

1.7 Технология CWDM

Технология WDM, разряженная или плотная, идеально подходит для максимально эффективного использования новых и существующих оптоволоконных систем. Провайдеры внедряют WDM, добавляя разряженные или плотные модули в свои узлы, после рассмотрения ключевых различий между ними [6].

В мультиплексировании с разделением по длине волны (WDM) используются оптоволоконные кабели для передачи большого количества потоков данных. Это предпочтительнее обычного использования систем мультиплексирования с частотным разделением (FDM) и мультиплексирования с временным разделением (TDM). В настоящее время используются два основных типа технологий WDM: мультиплексирование с разряженным разделением по длине волны (CWDM) и плотное мультиплексирование с разделением по длине волны (DWDM).

Технологии CWDM и DWDM не зависят от протокола. Это означает, что любое соединение данных, хранилища, голоса или видео может использоваться на каналах с различной длиной волны. CWDM позволяет передавать до 18 каналов данных по одному волокну, тогда как DWDM поддерживает до 88. Основное различие в отношении волокна заключается в том, как каналы передачи расположены вдоль магнитного спектра.

Модули CWDM увеличивают ширину полосы пропускания, которую может нести волоконно-оптическая система, передавая несколько сигналов на различных длинах волн по оптоволоконным кабелям. CWDM обычно может поддерживать до 18 каналов с различной длиной волны на одном участке волокна.

Модули DWDM также размещают данные из разных источников вместе по оптоволоконному кабелю и дополнительно увеличивают пропускную способность и пропускную способность системы, используя близко расположенные длины волн для передачи нескольких сигналов по одному кабелю. DWDM обычно может поддерживать до 88 каналов длины волны на одном волокне.

Мультиплексирование с разряженным разделением по длине волны (CWDM) - это технология, которая увеличивает пропускную способность сетей за счет использования оптического спектра от 1271 до 1611 нм (нанометров). Он способен передавать до 18 длин волн вместо 2 стандартных окон 1310 и 1550 нм.

Чтобы адекватно рассмотреть CWDM, нам сравним его с плотным мультиплексированием с разделением по длине волны (DWDM). DWDM впервые появился в 1990-х годах, чтобы удовлетворить требования к полосе пропускания для установок на большие расстояния, причем первоочередной задачей было удовлетворить потребность в максимальной спектральной эффективности участков волоконно-оптических кабелей с низким числом волокон. Это совпало с изобретением и интеграцией усилителя на основе легированного эрбием волокна (EDFA), который мог бы усилить всю C-полосу (обычную полосу), работающую от 1530 нм до 1565 нм. Используя лазеры с распределенной обратной связью (DFB), можно передавать 40 или более длин волн по одному волокну. Комбинация одномодового волокна с малыми потерями (SMF), использующего окно 1550 нм, и нового MCЭ-T G.654, срезанного со смещенным SMF и MCЭ-T G.655 с ненулевым смещением дисперсии (NZDS); это обеспечило идеальную совместимость и развилось для использования в магистральных сетях и сетях доступа. Стандартизированный стандартом G.692 MCЭ, он быстро стал доминирующим для использования в высокоскоростных приложениях на большие расстояния.

CWDM используется там, где требуется более дешевое решение, чем DWDM. Это может включать городские сети, где расстояния передачи короче, а усилители не нужны. Это также отличное решение, когда вытяжка волокна ограничивает количество волокна. CWDM составляет примерно треть стоимости DWDM и может быть легко применена к установленным стандартным одномодовым оптоволоконным установкам, которые оптимизированы для работы в исходной полосе (O-полосе), работающей между 1260 нм и 1360 нм.

Системы уплотнения CWDM состоят из двух основных компонентов:

- оптических трансиверов, рассчитанных для работы в CWDM. В этом случае используются специальные двухволоконные трансиверы передатчики (лазеры), которых излучают оптический сигнал на одной из длин волн входящей в рабочий диапазон CWDM;

- оптических мультиплексоров/демультиплексоров. Мультиплексор — пассивное оптическое устройство, объединяет несколько оптических сигналов (от нескольких трансиверов) в один общий и передает в ОВ. Демультиплексор — пассивное оптическое устройство, разделяет общий оптический сигнал, принятый из ОВ и передает отдельные сигналы в соответствующие приемники трансиверы.

Мультиплексоры и демультиплексоры – конструктивно не отличаются. Разница в названии обусловлена способом применения. Одно и то же устройство может мультиплексировать и демультиплексировать, в зависимости от схемы подключения.

Мультиплексирование с разряженным разделением по длине волны получает все большее признание в сети метро. Это связано с тем, что система CWDM может нести большую полосу пропускания для нескольких приложений метро и является менее дорогой, чем система с уплотненным WDM (DWDM), поскольку в передатчиках используются неохлаждаемые лазерные диоды с прямой модуляцией. В CWDM для каждой длины волны используется отдельный модуль передатчика, приемника или приемопередатчика с одной длиной волны. Обычно длины волн лежат на разнесенной в 20 нм сетке в диапазоне от 1470 до 1610 нм. Выходы каждого модуля объединяются и разделяются с использованием внешних волоконно-оптических мультиплексоров, демультиплексоров и мультиплексоров ввода-вывода. По сути, это тот же масштабируемый модульный подход, что и DWDM, но с более широким разнесением каналов. Приемопередатчики CWDM в значительной степени используют технологию параллельной оптики. Массив лазера и детектора непосредственно связан с крошечным оптическим мультиплексором и демультиплексором, предоставляя модулю приемопередатчика CWDM один оптический выход и один оптический вход, предпочтительно через дуплексный разъем. CWDM имеет большой потенциал для снижения стоимости оптического канала, но существует проблема с размером и стоимостью системы. В обычной линии CWDM количество модулей передатчика и приемника равно требуемым длинам волн. Компактная и недорогая система связи CWDM возможна с многоканальными оптическими модулями. Для применения в CWDM недавно появились сообщения о компактных недорогих оптических модулях с четырьмя каналами. В качестве экономически эффективного решения для сборки модулей CWDM используется оптическая сборка (OSA). Оптическое выравнивание различных компонентов выполняется на OSA без каких-либо требований к механической точности. Приемопередатчики CWDM состоят из неохлаждаемых лазерных диодов с прямой модуляцией, pin-фотодиодов, оптических волокон, оптического мультиплексора и демультиплексора,

оптического выравнивания и интегральных схем (ИС). Приемопередатчик CWDM с неохлаждаемым лазерным диодом, используемый для телекоммуникационных систем, должен надежным в отношении изменения характеристик различных компонентов. В этом исследовании влияние коэффициента экстинкции лазерного диода и использования EDFA на оптические характеристики линии было изучено с помощью оптического моделирования.

Стандарт CWDM, стандартизованный в 2003 году стандартами ITU-T G.694 и G.695, адресован длинам волн, работающим от 1271 нм, при работе со стандартными одномодовыми волокнами ITU-T G.652. Поскольку каждый из 18 каналов имеет ширину 20 нм, можно снизить затраты на систему с использованием неохлаждаемых лазеров и фильтров Fabry-Perot (FP) [7].

Для сравнения, для систем DWDM требуется узкое разнесение каналов с разнесом 50 ГГц (0,4 нм), разнесом 100 ГГц (0,8 нм), разнесом 200 ГГц (1,6 нм), которые требуют более дорогостоящих лазеров с охлаждением и стабилизированной распределенной обратной связью (DFB) и длиной волны. Кроме того, прецизионные оптические фильтры необходимы для демультиплексирования близко расположенных длин волн.

С помощью транспондеров CWDM и DWDM, теперь доступных в модулях, производители систем создали варианты перемещения, где в будущем можно будет заменить один модуль CWDM на 20 нанометров на модуль канала DWDM с более высокой плотностью, создавая большую емкость при необходимости. Разница в пропускной способности волокна между этими двумя расстояниями является существенной. Сорок 100-гигагерцевых DWDM-каналов легко вписываются в C-диапазон от 1530 до 1565 нм, тогда как два CWDM-канала не совсем уместятся в одном и том же пространстве. Такое широкое разнесение каналов снижает стоимость мультиплексирования и демультиплексирования оптики, а также позволяет использовать более дешевые активные и пассивные устройства. Это также позволяет в будущем перейти на более узкие DWDM-каналы (см. рисунок 1.5).

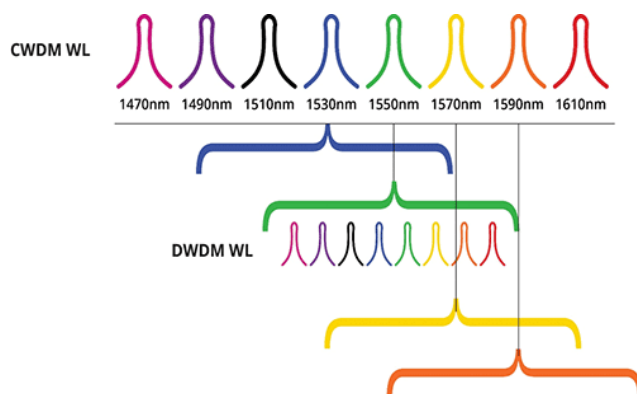


Рисунок 1.5- Переход с CWDM на DWDM добавляет дополнительную емкость

Интервал длин волн CWDM указывается в единицах длины волны (нанометрах), а интервал DWDM - в единицах частот (гигагерц). Это означает, что разнос каналов DWDM одинаков по частоте во всем рабочем диапазоне, но не одинаков по длине волны, в то время как разнос каналов CWDM однороден по длине волны, но не в единицах частоты.

Поскольку устройства DWDM начинались с очень высокой надежности и жестких спецификаций, было легко упростить эти продукты и разработать системы с меньшими затратами. Было 2 примера, в которых это было чрезвычайно успешно: это пассивные оптические сети «дом-волокно» и разработка продуктов CWDM от 1271 нм до 1611 нм, охватывающих полосу O через Long- (L).

CWDM может использоваться везде, где требуется повышенная емкость. В случаях, когда имеется ограниченное количество доступных волокон, может быть установлена система CWDM, чтобы ослабить ограничения на выпуск волокна (рисунок 1.6). Простые модули 1 RU для мультиплексирования, демультиплексирования и мониторинга позволяют легко интегрировать эту опцию в существующие сети. Это относится ко многим устаревшим оптоволоконным установкам G.652, где сегодня не хватает волокон в распределительной сети, например в сетях FTTh.



Рисунок 1.6 - 8-канальный мультиплексор CWDM / демультиплексор / монитор

Другое приложение, используемое в интеллектуальных транспортных системах (ITS) - это передача многоканального видео и двунаправленных данных из придорожных шкафов. Нередко 8 камер отслеживают движение, движущееся во всех направлениях через перекресток. 8 видеосигналов плюс двунаправленные сигналы для камеры и контроля доступа, где CWDM может

транспортироваться по 1 одномодовому волокну. В центре управления трафиком (ТМС) оптические сигналы демультиплексируются.

Были разработаны оптические волокна [8], которые оптимизированы для различных полос. Основное различие между CWDM и DWDM заключается в том, что DWDM оптимизирован для использования при 1550 нм. Волокно с ненулевым смещением дисперсии G.655 оптимизировано для использования в С-диапазоне на 1550 нм, но может распространяться на короткую и длинную полосы, тогда как G.652 оптимизировано для оригинального или О-диапазона, работающего на 1310 нм.

Разновидностью волокна G.652 является ITU G.652D, который предназначен для работы в расширенном или Е-диапазоне между 1360 и 1460 нм. Это очень важно для распознавания, так как в Е-диапазоне ослабление SMF G.652 может иметь ослабление до 2 дБ / км в отличие от стандартного .4 дБ / км в О-диапазоне. Поскольку оптоволокно G.652D было впервые распознано в марте 2003 года, после этого были установлены временные рамки для установки нового оптоволокна.

1.7.1 Тестирование CWDM. Поскольку оптические передающие системы становятся быстрее и охватывают больше длин волн, как в случае WDM, испытания на внешних установках также усложняются. Теперь нам необходимо изолировать измерения для конкретной длины волны, что требует использования измерителей мощности WDM, которые предназначены для привязки к рассматриваемой длине волны. Другое оборудование может включать в себя средство проверки канала WDM и рефлектометр WDM, которые доступны для приложений CWDM или DWDM.

К сожалению, тестирование отдельных каналов выходит за рамки большинства рефлектометров, которые предназначены для работы при стандартных окнах 1310 нм и 1550 нм. Для тестирования каналов CWDM на определенных длинах волн мы могли бы использовать выходной порт передатчика в качестве источника света. Тем не менее, нам по-прежнему нужно было бы использовать устройство проверки канала WDM, которое представляет собой специализированный измеритель оптической мощности, который выполняет последовательные измерения мощности для каждой длины волны. Технический специалист должен также выбрать отдельные длины волн, чтобы увидеть и записать фактические значения для целей документирования.

Другой проблемой является использование CWDM в топологии фидерных колец, а затем отбрасывание этой длины волны в распределительное волокно. Допустим, вы передаете каналы 1311, 1331, 1351, 1371, 1391 и 1411, но отбрасываете канал 1351 нм из кольца.

CWDM предлагает отличную альтернативу, когда требуются дополнительные волокна или полосу пропускания, а также обеспечивает будущий путь перехода в DWDM. Как минимум, для тестирования CWDM требуется измеритель оптической мощности, откалиброванный для каналов CWDM. CWDM является отличным вариантом для решения проблемы

вытяжки волокон и должен быть исследован для будущих вариантов проектирования.

Схема оптической линии связи для 5 км с четырехканальным модулем приемопередатчика CWDM показана на рисунке 1.7 [9]. Ухудшение оптической линии связи определяется путем расчета коэффициента добротности, BER и глаз-диаграммы для разных каналов приемопередатчика CWDM. Коэффициент ослабления оптического передатчика, используемого в цифровой связи, представляет собой просто отношение средней энергии в переданном логическом уровне «1» к средней энергии в переданном логическом уровне «0».

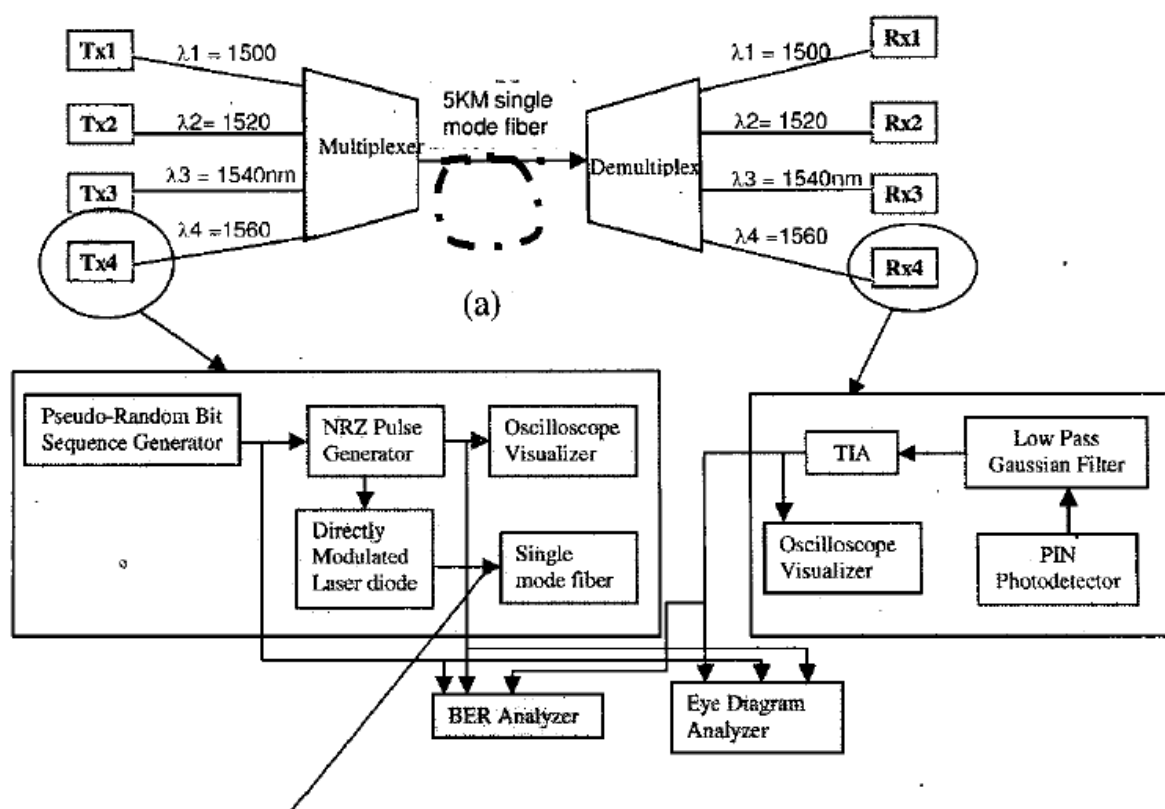


Рисунок 1.7- Схема оптической линии с использованием 4 каналов

В высокоскоростных системах оптической связи, чтобы избежать нежелательных эффектов, требуется большая глубина модуляции наряду с большой частотой модуляции и минимальными потерями мощности. Высокая глубина модуляции желательна, потому что оптический сигнал будет демонстрировать больший запас, чтобы противостоять шуму. Коэффициент ослабления (ER) является мерой глубины модуляции исходного передатчика, и он выражает пропорциональную зависимость между уровнями мощности двоичного сигнала. 1 'и' 0 'сигналы, усредненные при передаче псевдослучайного сигнала двоичной последовательности, отфильтрованного при 75% максимальной скорости передачи в битах.

Существующие четырехканальные оптические линии CWDM-приемопередатчика с использованием лазеров с прямой модуляцией являются идеальным решением для увеличения потребностей в полосе пропускания и низкой стоимости оптических модулей.

2 Выбор среды имитационного моделирования

На сегодняшний день существует множество программных комплексов и систем для осуществления имитационного моделирования. Некоторые из них являются платными продуктами, другие распространены бесплатно в Интернет.

Для того, чтобы выбрать подходящую для нашей работы систему моделирования следует провести сравнение существующих систем и определить наиболее подходящую. Одним из определяющих факторов при выборе программы моделирования является функциональность и возможности программы. Так же важным параметром является стоимость лицензии, так как большие затраты на покупку лицензии могут быть неприемлемыми. Еще одним важным фактором при выборе системы моделирования является удобство интерфейса, нужно, чтобы библиотеки с элементами и интерфейс программы были интуитивно понятны.

В таблице 2.1 приведены сравнительные параметры нескольких систем моделирования для выбора наиболее подходящей программы для построения модели магистральной линии связи [4].

Таблица 2.1 - Сравнение систем имитационного моделирования

Продукт	Лицензия / стоимость	Функциональность	Взаимодействие	Реализация WDM
Matlab / Simulink	Проприетарная/от \$89	Математические и инженерные расчеты, ЦОС, проектирование сетей	MATLAB	Присутствует
OPNET	Проприетарная/ 16000-40000	Моделирование сетей с графической визуализацией, планирование нагрузки	Графический интерфейс	Присутствует
Optisystem	Проприетарная/ 30 дней бесплатно	Моделирование сетей различных топологий, удобные библиотеки	Графический интерфейс / Объектная база данных	Присутствует

Сравнив характеристики систем имитационного моделирования из таблицы 2.1, выбрал среду моделирования Optisystem, так как она наиболее удобна для построения моделей оптической связи, а так же имеет интуитивно понятный интерфейс и бесплатную 30-ти дневную версию.

OptiSystem - это пакет моделирования системы оптической связи для проектирования, тестирования и оптимизации практически любого типа оптической линии связи на физическом уровне широкого спектра оптических сетей, от аналоговых систем видеовещания до межконтинентальных магистралей. Симулятор системного уровня, основанный на реалистичном моделировании волоконно-оптических систем связи, OptiSystem обладает мощной средой моделирования и действительно иерархическим определением компонентов и систем. Его возможности могут быть легко расширены за счет добавления пользовательских компонентов и бесшовных интерфейсов к ряду широко используемых инструментов. OptiSystem совместима с инструментами проектирования OptiAmplifier и OptiBPM от Optiwave.

OptiSystem обслуживает широкий спектр применений, от проектирования сетей CATV / WDM и кольцевого проектирования SONET / SDH до проектирования карты и конструкции передатчика, канала, усилителя и приемника. OptiSystem содержит компонент MATLAB, который позволяет пользователю вызывать MATLAB в своей среде для включения новых компонентов или моделей в программное обеспечение. OptiSystem использует файлы .dll MATLAB для оценки сценария MATLAB в компоненте для выполнения вычислений.

Особенности среды моделирования Optisystem:

- иерархический дизайн от оптических компонентов до систем (на физическом уровне);
- пользовательские компоненты и язык сценариев;
- на основе реалистичного моделирования волоконно-оптических систем связи;
- обширная библиотека активных и пассивных компонентов, включая реалистичные, зависящие от длины волны параметры;
- развертка параметров и оптимизация.

Одним из главных преимуществ данной программы над другими является удобный и интуитивно понятный интерфейс.

В среде Optisystem существует 17 встроенных библиотек, поиск по которым можно осуществлять с помощью поисковика по одному слову или полному названию элемента. Так же щелкнув на необходимый элемент в библиотеке дважды, открывается окошко помощи с подробным описанием элемента и его работы.

На рисунке 2.1 показано окно поисковика в программе Optisystem. При введении одного слова, в нашем случае “fiber” (волокно), в правой части окна появляется список элементов, включающих слово “fiber” в название. Для обнаружения необходимого элемента в библиотеке следует щелкнуть на него дважды в окне поисковика.

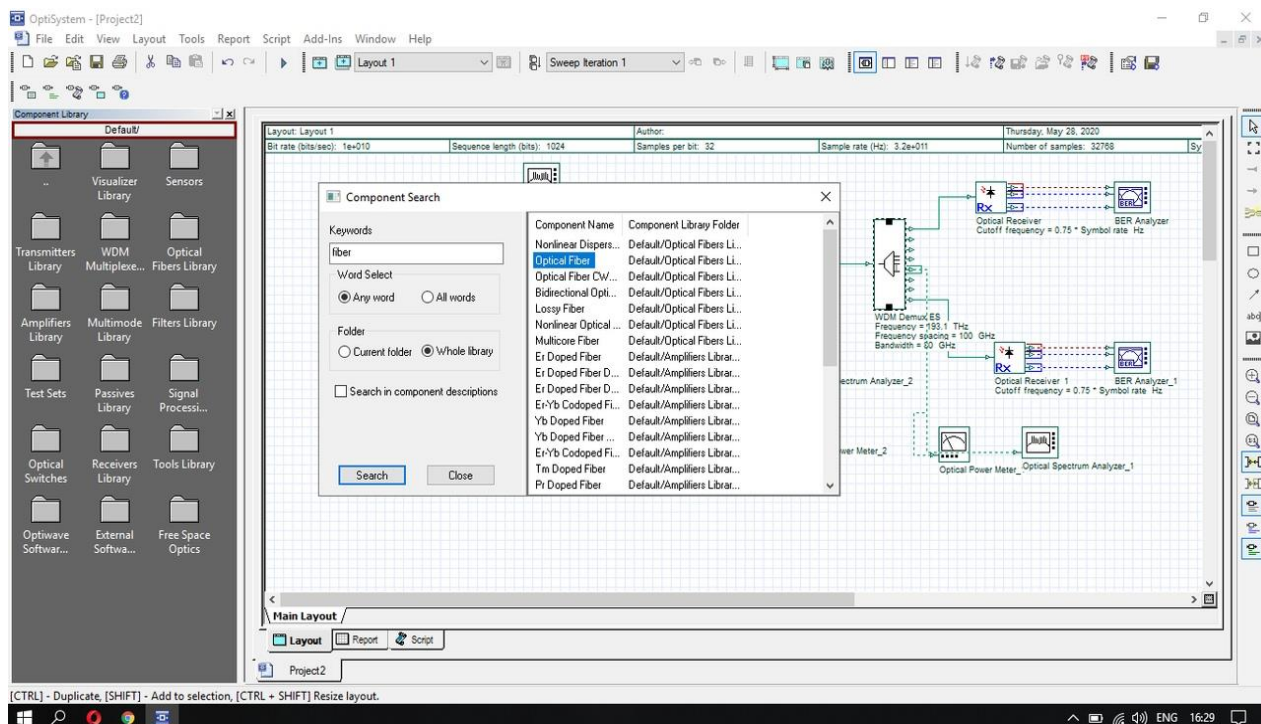


Рисунок 2.1- Окно поиска в среде моделирования Optisystem

Так же в среде моделирования Optisystem есть возможность изменения параметров того или иного элемента. Например, на рисунке 2.2 изображено окно изменения параметров WDM передатчика.

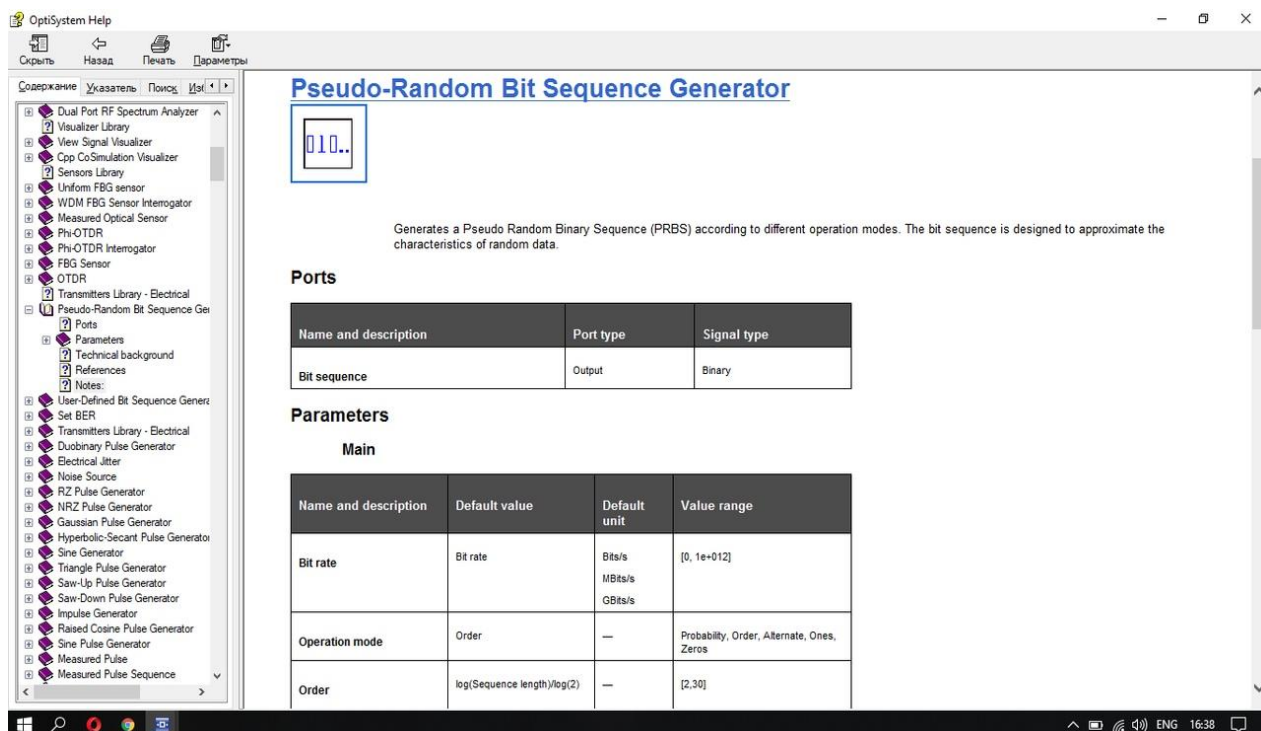


Рисунок 2.2- Окно описания элемента в среде Optisystem

На рисунке 2.3 видно, что для элемента WDM transmitter есть такие параметры для изменения, как количество портов выхода, частота, мощность и другие. Изменение параметров элементов библиотек в Optisystem позволяет создавать модели существующих устройств с существующими параметрами, что позволяет построить более реальную модель линии связи.

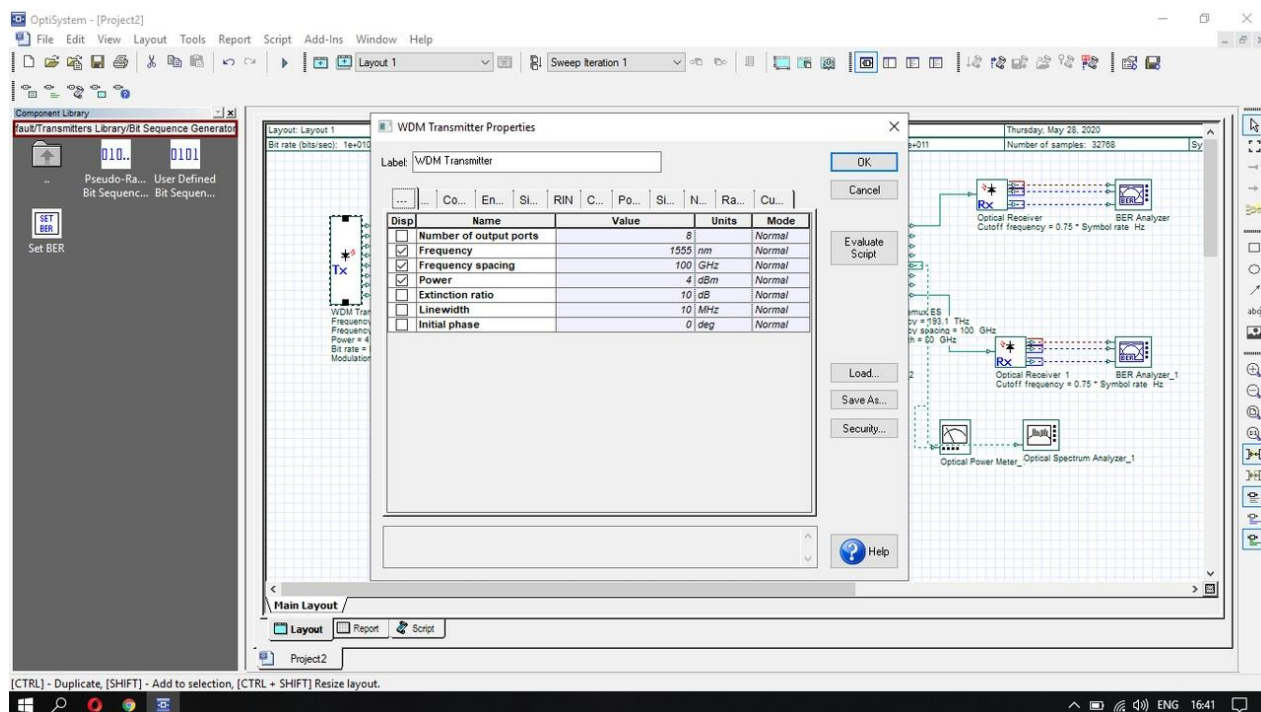


Рисунок 2.3- Окно изменения параметров WDM передатчика в среде моделирования Optisystem

Оптическое моделирование волоконно-оптических линий связи CWDM выполняется с помощью Optisystem, которая позволяет пользователям проектировать и тестировать различные оптические линии и оптические сети. Optisystem имеет мощную среду моделирования и обширную библиотеку активных и пассивных компонентов. Компоненты, представленные в библиотеке по умолчанию, способны воспроизводить реальное поведение реального устройства и требуемые эффекты. В этом моделировании волоконно-оптический канал создается путем выбора компонентов из библиотеки по умолчанию. Моделирование волоконно-оптического канала включает в себя генерацию случайных двоичных битов генератором псевдослучайных последовательностей. Генератор импульсов NE генерирует электрические сигналы из двоичных битов. Электрические сигналы преобразуются в световые импульсы с помощью DML, которые связаны с концом сердечника волокна. Мультиплексор объединил разные каналы оптического сигнала для получения одного линейного оптического сигнала. Оптический сигнал передается по одномодовому оптическому волокну, где он демультиплексируется в четырех разных длинах волн сигналов. PIN-

фотодетектор обнаруживает поступающие световые импульсы и преобразует их в электрические сигналы. Задача состоит в том, чтобы гарантировать, что принимаемые импульсы имеют надлежащую форму и достаточную интенсивность для правильного обнаружения, чтобы минимизировать потери из-за шума или затухания и устранить искажения, присутствующие в сигнале. Визуализатор осциллографа используется для получения электрических сигналов на генераторе импульсов NRZ и трансимпедансном усилителе. Коэффициент Q и BER, полученные с помощью анализатора глазковых диаграмм или анализатора BER, используются для анализа ухудшения сигнала на компонентах приемника.

3 Теоретический расчет для магистральной линии по технологии CWDM

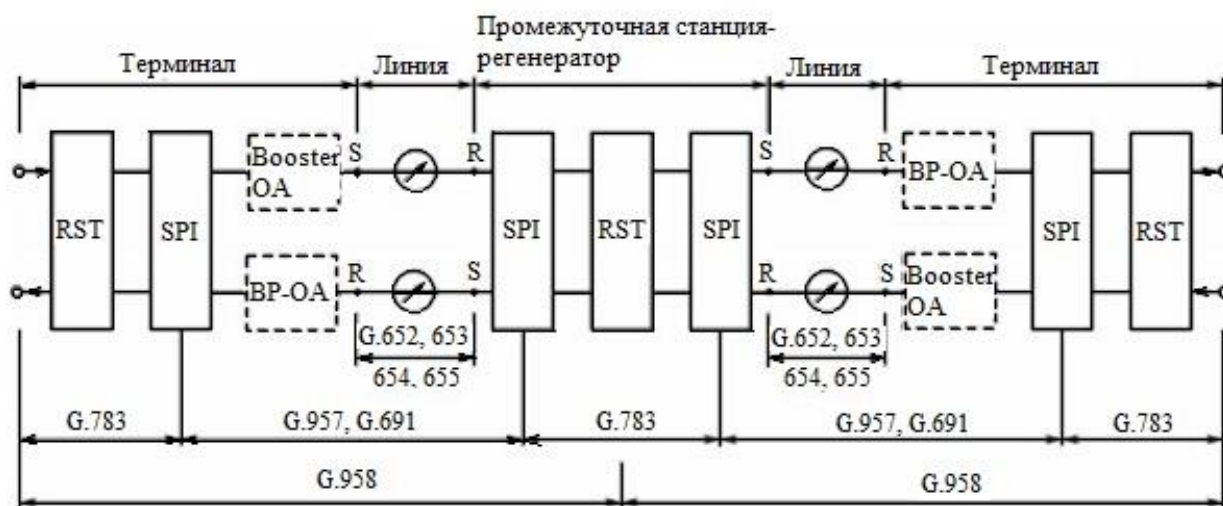


Рисунок 3.1- Пример включения интерфейсов аппаратуры SDH

На рисунке 3.1 обозначены стандартные функциональные блоки аппаратуры SDH. Данные блоки определены в Рекомендации МСЭ-Т G.783 [7]. Раскроем значения обозначений:

- G 652, 653, 654, 655 - типы волокон кабеля в линии передачи, рекомендованные МСЭ-Т;
- G 783-958 – используемое оборудование, стандартизированное МСЭ-Т;
- SPI, SDH Physical Interface - физический интерфейс SDH с точками подключения к линии или оптическому усилителю;
- OA, (Optical Amplifier) – оптический линейный усилитель;
- Booster – усилитель мощности;
- S- точка включения передачи;
- R- точка приема;
- RST, Regeneration Section Termination - окончание секции регенерации, функции доступа к заголовку (RSOH) [7,8].

Далее: S – означает короткую линию регенерации (shot), L – длинную линию участка (long), а V – означает очень длинную линию усилительного участка. Цифра означает номер окна прозрачности линейной оптической передачи: 2 означает второй номер «окна прозрачности» - т.е. 1310нм., а цифра 3 означает третье «окно прозрачности», т.е. 1550нм.

При расчете были использованы стандартные значения для характеристик оптических интерфейсов. Данные значения приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Примеры характеристик оптических интерфейсов SDH [7]

Код применения	Единица	S-64.2	L-64.2	V-64.2	V-64.3
1	2	3	4	5	6
Уровень STM		STM-64	STM-64	STM-64	STM-64
Скорость передачи	Гбит/с	9.95328	9.95328	9.95328	9.95328
Длина волны	нм	1530-1565	1530-1565	1530-1565	1530-1565
Тип лазерного диода		DFB	DFB	DFB+OA	DFB+OA
Спектральная ширина на уровне -20дБм	нм	менее 0.2	менее 0.2	менее 0.2	менее 0.2
Минимальная средняя мощность	дБм	-1	+1	+12	+10
Максимальная средняя мощность	дБм	+1	+3	+15	+13
Тип диода приемника		p-i-n/ADP	p-i-n/ADP	p-i-n/ADP	p-i-n/ADP
Минимальная чувствительность при BER=10 ⁻¹²	дБм	-14	-23	-23	-24
Порог перегрузки	дБм	+1	-9	-9	-9
Максимальные потери оптического пути	дБ	2	2	2	2
Максимальный коэффициент отражения приемника	дБ	-27	-27	-27	-27
Максимальный диапазон	дБ	11	22	33	33

затухания					
Минимальный диапазон затухания	дБ	0	10	22	22
Максимальная дисперсия	пс/нм	800	1600	2400	2400
Минимальный коэффициент потери на отражение	дБ	24	24	24	24

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6
Максимальное отражение на компонентах	дБ	-27	-27	-27	-27
Участок регенерации	км	*	*	*	*
* Длина участка регенерации определяется возможностями энергетического потенциала и компенсации дисперсии, применением различных типов одномодовых волоконных световодов (G.652, G.653, G.655)					

Представляло интерес рассчитать длину регенерационного участка с использованием типовой аппаратуры для коротких линий (S-64.2), что может быть использовано для густонаселенных районов Казахстана, а также – привести расчет очень длинной секции (V-64.3), что может быть использовано для районов Восточного Казахстана и Северо-востока.

3.1 Расчет усилительного участка интерфейса S 64-2

Рассчитаем длину усилительного участка для интерфейса S-64.2 [7].

Из таблицы 3.1 получим исходные данные для расчета. Рабочая длина волны 1310 нм, используем оптическое волокно G.652.

Так, максимальная средняя мощность передатчика в точке S, включая усилители $P_S = 1$ дБм. Минимальная чувствительность при $BER=10^{-12}$ для приемника в точке R $P_R = -14$ дБм. Максимальные потери оптического пути $P_D = 2$ дБ. Энергетический запас на старение оборудования высчитывается как разность максимального и минимального уровней мощности передачи, в нашем случае $M_e = 1 + 1 = 2$ дБ. Потери мощности на неразъемных стыках кабеля составляют $I_{ст} = 0,05$ дБ. Потери мощности на разъемных стыках кабеля составляют $I_{стр} = 0,3$ дБ. Километрическое затухание кабеля на заданной длине волны составляет $\alpha_c = 0,21$ дБ/км. Запас на повреждение составляет $\alpha_m = 0,05$ дБ/км. Строительная длина кабеля в расчетах принимается от 4 до 6 км. В

данном случае $L_{стр} = 4$ км. Число разъемных стыков на участке секции регенерации принимают равным 2 или 4, для расчета примем $N_c = 4$.

Рассчитаем длину регенерационного участка без учета потерь на стыках по формуле (3.1)

$$L_{py} = \frac{P_S - P_R - P_D - M_e}{\alpha_c + \alpha_m}, \quad (3.1)$$

Подставим исходные данные в формулу (3.1). Произведем расчет

$$L_{py} = \frac{1+14-2-2}{0,21+0,05} = 57,69 \text{ (км)}.$$

Вычислим количество строительных длин на регенерационном участке $L_{py} = 57,69$ км по формуле (3.2).

$$N = L_{py} / L_{стр}, \quad (3.2)$$

Подставим имеющиеся данные в формулу (3.2) и получим

$$N = 57,69 / 4 = 14,42.$$

Округлим данное значение до большего и получим $N = 15$.

Теперь определим длину регенерационного участка с учетом потерь на разъемных и неразъемных стыках кабеля по формуле (3.3).

$$L_{py} = \frac{P_S - P_R - P_D - M_e - (N-1)l_{ст} - N_c \cdot l_{стр}}{\alpha_c + \alpha_m}, \quad (3.3)$$

Рассчитаем длину регенерационного участка с учетом потерь на стыках, подставив имеющиеся значения, и получим

$$L_{py} = \frac{1+14-2-2-(15-1)0,05-4 \cdot 0,3}{0,21+0,05} = 50,38 \text{ (км)}.$$

Итак, длина регенерационного участка с учетом потерь на разъемных и неразъемных стыках кабеля составляет $L_{py} = 50,38$ км.

Рассчитаем значение хроматической дисперсии. Величина дисперсии на длине волны равной 1310 нм не должна превышать 800 пс/нм. В данном расчете было использовано одномодовое оптическое волокно G.652. Для данного оптического волокна значение хроматической дисперсии на 1 км составляет $D = 12$ пс/нм*км.

Вычислим хроматическую дисперсию на длине регенерационного участка $L_{py} = 50,38$ км по формуле (3.4).

$$D_{xp} = D \cdot L_{py}, \quad (3.4)$$

Подставим известные данные в формулу (3.4) и получим

$$D_{xp} = 12 \cdot 50,38 = 604,56 \text{ (пс/нм)}.$$

Из расчета выше видно, что хроматическая дисперсия находится в пределах нормы при ширине спектральной линии источника излучения (лазер типа DFB), то есть составляет меньше 800 пс/нм. Однако на скорости передачи равной 10 Гбит/с следует также учитывать поляризационную модовую дисперсию или ПМД.

Вычислим ПМД по формуле (3.5).

$$D_{\text{ПМД}} = \sigma_{\text{ПМД}} \cdot \sqrt{L_{\text{пу}}}, \quad (3.5)$$

где $\sigma_{\text{ПМД}}$ является нормированным значением по отношению к длине волокна, $\sigma_{\text{ПМД}} = 0,5 \text{ пс/км}^{1/2}$.

Подставим имеющиеся значения в формулу (3.5) для определения ПМД.

$$D_{\text{ПМД}} = 0,5 \cdot \sqrt{50,38} = 3,55 \text{ (пс)}.$$

Далее рассчитаем значение результирующей дисперсии по формуле (3.6).

$$D_{\Sigma} = \sqrt{D_{xp}^2 - D_{\text{ПМД}}^2}. \quad (3.6)$$

Вычислим результирующую дисперсию, подставив значения в формулу (3.6).

$$D_{\Sigma} = \sqrt{604,56^2 - 3,55^2} = 604,57 \text{ (пс)}.$$

Итак, из расчетов выше видно, что совокупная величина хроматической и поляризационной дисперсии не превосходит нормативное значение дисперсии для интерфейса S-64.2.

Также для подбора интерфейса можно использовать другой способ. Определим нормированное значение дисперсии для интерфейса на 1 км по формуле (3.7).

$$D_{\text{км}} = D_{\text{норм}} / L_{\text{пу}}, \quad (3.7)$$

Подставим наши значения в формулу (3.7) и получим

$$D_{\text{км}} = 800/50,38 = 15,87 \text{ (пс/нм·км)}.$$

Из расчета выше видно, что значение дисперсии на 1 км превышает нормированное значение для данного оптоволокна, а значит, мы можем использовать интерфейс S-64.2 на участке длиной $L_{\text{py}} = 50,38$ км.

По величине полученной километрической дисперсии можно выбрать следующие параметры:

- соответствующий тип волокна;
- длину волны передатчика в диапазоне 1300...1342 нм;
- ширину спектральной линии передатчика, измеряемую в долях нм, например 0,2 нм;
- соответствующий компенсатор дисперсии при необходимости.

Для моделирования линии связи будем использовать параметры, рассчитанные выше. Будет использоваться оптическое волокно G. 652 с затуханием 0,2 дБ/км. Длина волны передатчика, используемая при моделировании, составляет 1310 нм.

3.2 Расчет усилительного участка интерфейса V 64-3

Рассчитаем длину усилительного участка для интерфейса V-64.3 [7].

Из таблицы 3.1 получим исходные данные для расчета. Рабочая длина волны 1550 нм, используем оптическое волокно G.652.

Исходные данные для расчета: максимальная средняя мощность передатчика в точке S, включая усилители $P_S = 13$ дБм, минимальная чувствительность при $BER=10^{-12}$ для приемника в точке R $P_R = -24$ дБм. Максимальные потери оптического пути $P_D = 2$ дБ. Энергетический запас на старение оборудования высчитывается как разность максимального и минимального уровней мощности передачи, в нашем случае $M_c = 13 - 10 = 3$ дБ. Потери мощности на неразъемных стыках кабеля составляют $l_{\text{ст}} = 0,02$ дБ. Потери мощности на разъемных стыках кабеля составляют $l_{\text{стр}} = 0,4$ дБ. Километрическое затухание кабеля на заданной длине волны составляет $\alpha_c = 0,21$ дБ/км. Запас на повреждение составляет $\alpha_m = 0,05$ дБ/км. Строительная длина кабеля в расчетах принимается от 4 до 6 км. В данном случае $L_{\text{стр}} = 6$ км. Число разъемных стыков на участке секции регенерации принимают равным 2 или 4, для расчета примем $N_c = 4$.

Рассчитаем длину регенерационного участка без учета потерь АО формуле (3.1)

$$L_{\text{py}} = \frac{13 + 24 - 2 - 3}{0,21 + 0,05} = 123,08 \text{ (км)}.$$

Вычислим количество строительных длин на регенерационном участке $L_{\text{py}} = 123,08$ км по формуле (3.2).

$$N = 123,08 / 6 = 20,5.$$

Округлим данное значение до большего и получим $N=21$.

Рассчитаем длину регенерационного участка с учетом потерь на стыках по формуле (3.3)

$$L_{py} = \frac{13+24-2-3-(21-1)0.02-4*0.4}{0,21+0,05} = 115,38 \text{ (км)}.$$

Итак, длина регенерационного участка с учетом потерь на разъёмных и неразъёмных стыках кабеля составляет $L_{py} = 115,38$ км.

Рассчитаем значение хроматической дисперсии. Величина дисперсии на длине волны равной 1550 нм не должна превышать 2400 пс/нм. В данном расчете было использовано одномодовое оптическое волокно G.652. Для данного оптического волокна значение хроматической дисперсии на 1 км составляет $D=18$ пс/нм*км.

Вычислим хроматическую дисперсию на длине регенерационного участка $L_{py} = 115,38$ км по формуле (3.4).

$$D_{xp} = 18 \cdot 115,38 = 2076,9 \text{ (пс/нм)}.$$

Из расчета выше видно, что хроматическая дисперсия находится в пределах нормы при ширине спектральной линии источника излучения (лазер типа DFB), то есть составляет меньше 2400 пс/нм. Однако на скорости передачи равной 10Гбит/с следует также учитывать поляризационную модовую дисперсию или ПМД.

Вычислим ПМД по формуле (3.5).

$$D_{ПМД} = 0,5 \cdot \sqrt{115,38} = 5,37 \text{ (пс)}.$$

Вычислим результирующую дисперсию, подставив значения в формулу (3.6).

$$D_{\Sigma} = \sqrt{2076,9^2 - 5,37^2} = 2076,91 \text{ (пс)}.$$

Итак, из расчетов выше видно, что совокупная величина хроматической и поляризационной дисперсии не превосходит нормативное значение дисперсии для интерфейса V-64.3.

Также для подбора интерфейса можно использовать другой способ. Определим нормированное значение дисперсии для интерфейса на 1 км по формуле (3.7).

$$D_{км} = 2400/115,38 = 20,8 \text{ (пс/нм} \cdot \text{км)}.$$

Из расчета выше видно, что значение дисперсии на 1 км превышает нормированное значение для данного оптоволокна, а значит, мы можем использовать интерфейс V-64.3 на участке длиной $L_{py} = 115,38$ (км).

4 Моделирование магистральных линий связи в среде Optisystem

Для изучения модели магистральной линии была использована технология уплотнения каналов WDM [9].

WDM - это сокращение от мультиплексирования с разделением по длине волны, и в настоящее время это одна из наиболее широко используемых технологий для систем оптической связи большой емкости. На рисунке 4.1 схематично показана типичная система передачи WDM. На стороне передатчика несколько оптических передатчиков, каждый из которых имеет излучение на разной длине волны, индивидуально посылают сигналы, и эти сигналы мультиплексируются мультиплексором длины волны (MUX). Мультиплексированные сигналы затем передаются по одной главной линии передачи (оптоволоконный кабель). На стороне приемника сигналы демультиплексируются демультиплексором длины волны (DEMUX) и отправляются нескольким приемникам.

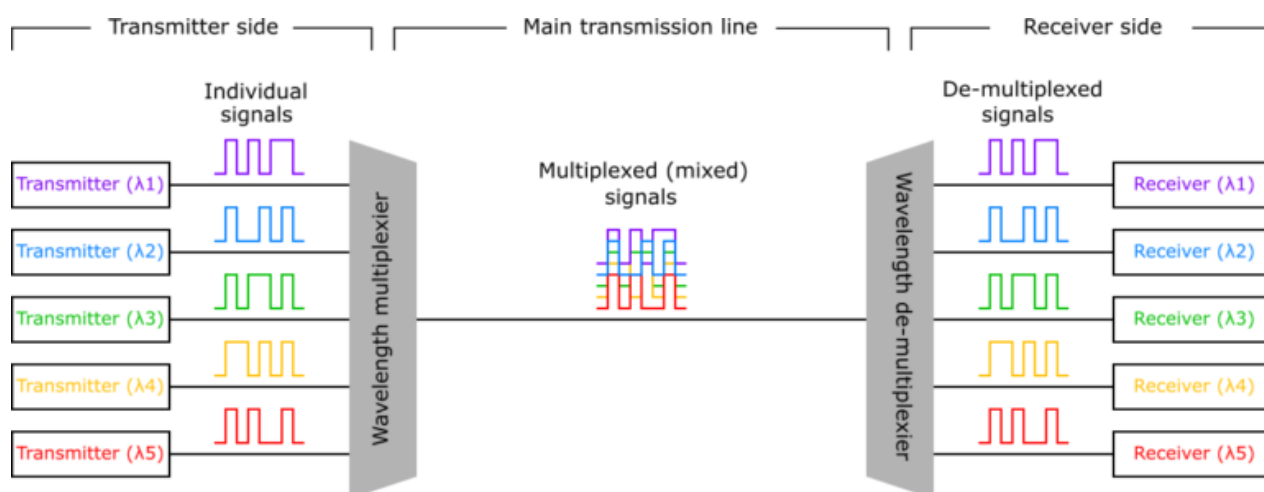


Рисунок 4.1- Схематическая система передачи WDM

Технология WDM является наиболее практичным и экономичным способом улучшения использования полосы пропускания волокна. Это может улучшить использование в несколько десятков раз, в несколько сотен или даже в тысячу раз по сравнению с технологией TDM, значительно снижая стоимость передачи по оптоволокну.

Представляло интерес моделирование рассчитанных линий, которые представлены в главе 3. В среде Optisystem была построена схема магистральной линии связи с использованием мультиплексора 1×8 для дистанции $L = 50$ (км) с усилителем после первых 40 км.

В данной модели был использован WDM передатчик с 8 портами. Генератором является псевдо рандомный генератор последовательностей (Pseudo-random bit sequence generator). Для отправления сигнала в линию его необходимо закодировать. Для этих целей, в данной схеме использовали тип линейного кодирования RZ (return to zero) [10].

Для мультиплексирования восьми каналов был использован Ideal mux-мультиплексор, не имеющий шумов.

Для определения качества передачи использовался BER-анализатор (Ber Analyzer), который позволяет увидеть количество ошибочно принятых битов на приеме. Согласно стандартам МСЭ-Т для оптических магистральных линий, BER должен быть не больше 10^{-12} . В качестве наглядного примера для определения качества передачи используется глазковая диаграмма – «глаз» - диаграмма, а также значение Q-фактора передачи. Все это определяется совместно с BER на конце оптической линии, на приеме.

Также, в качестве мониторинга проектирования линии и осуществления передачи используется измеритель оптической мощности (Optical Power Meter), он может располагаться в различных участках линии: на передаче, на приеме, после усилителя и т.д.

Поскольку целью данного исследования являлась магистральная многоканальная линия, построенная по технологии мультиплексирования CWDM, была необходимость в использовании анализатора спектра (Optical Spectrum Analyzer), который позволяет осуществлять контроль за центральной длиной волны канала, соответствующей частотной сетке, используемой на линии. Он может располагаться в различных участках линии, но чаще всего – на передаче и на приеме, при этом наглядно видно, как ухудшается спектр мультимплексированного сигнала при прохождении линии, т.е. на приеме. Также, в данной схеме был использован WDM – анализатор (WDM Analyzer), который позволяет контролировать качество передачи при объединении некоторого числа каналов, при требуемом межканальном интервале.

Как видно на рисунке 4.2, на схемах присутствуют три типа линий, которые окрашены в разные цвета: зеленый – передача оптических сигналов, красный – передача электрических сигналов, синий – измерения.

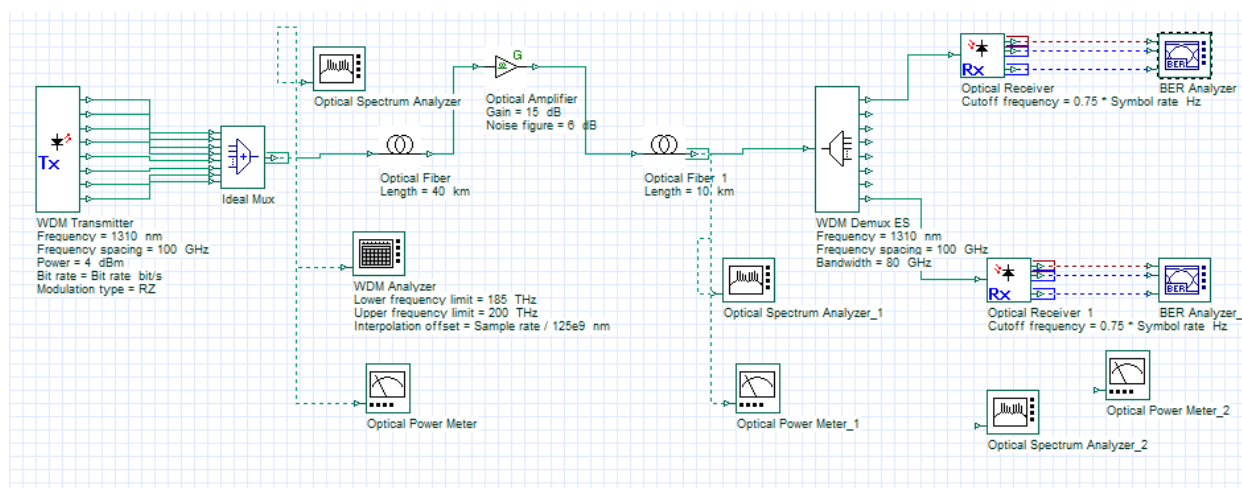


Рисунок 4.2- Схема линии связи WDM для 8 каналов

Итак, вернемся к моделированию оптической магистральной линии. Общая длина дистанции равна 50 км. После 40 км был установлен усилитель мощности в 15 дБ с уровнем шума равным 6 дБ. После усилителя идет еще 10 км оптического волокна.

Для разделения сигнала на 8 каналов использовали WDM Demultipлексор с разделением по длине волны. Пропускная способность данного демультиплексора составляет 80 ГГц.

Для построения модели линии связи было использовано оптоволокно G.652. Данное оптическое волокно предназначено для магистральных линий связи для подвеса круглым самонесущим кабелем. Данное одномодовое оптоволокно имеет коэффициент затухания равным 0,2 дБ/км.

После демультиплексора сигналы поступают на оптический приемник. Для лучшей видимости на схеме модели было указано только 2 приемника из 8.

К каждому приемнику был подключен BER analyzer (Bit error rate). BER является коэффициентом ошибок по битам. То есть BER характеризуется количеством битовых ошибок в единицу времени.

Для анализа качества передачи в данной модели связи мы использовали глаз-диаграмму битовых ошибок.

Глаз-диаграмма является многократным наложением битовых последовательностей, исходящих с выхода генератора псевдослучайной последовательности (Pseudo-random bit sequence generator). Традиционное измерение такой диаграммы обычно включает использование цифрового осциллографа и требует сбора большого количества данных, что занимает много времени. Однако в среде Optisystem с помощью BER analyzer мы получаем глаз-диаграмму за считанные секунды (рисунок 4.3).

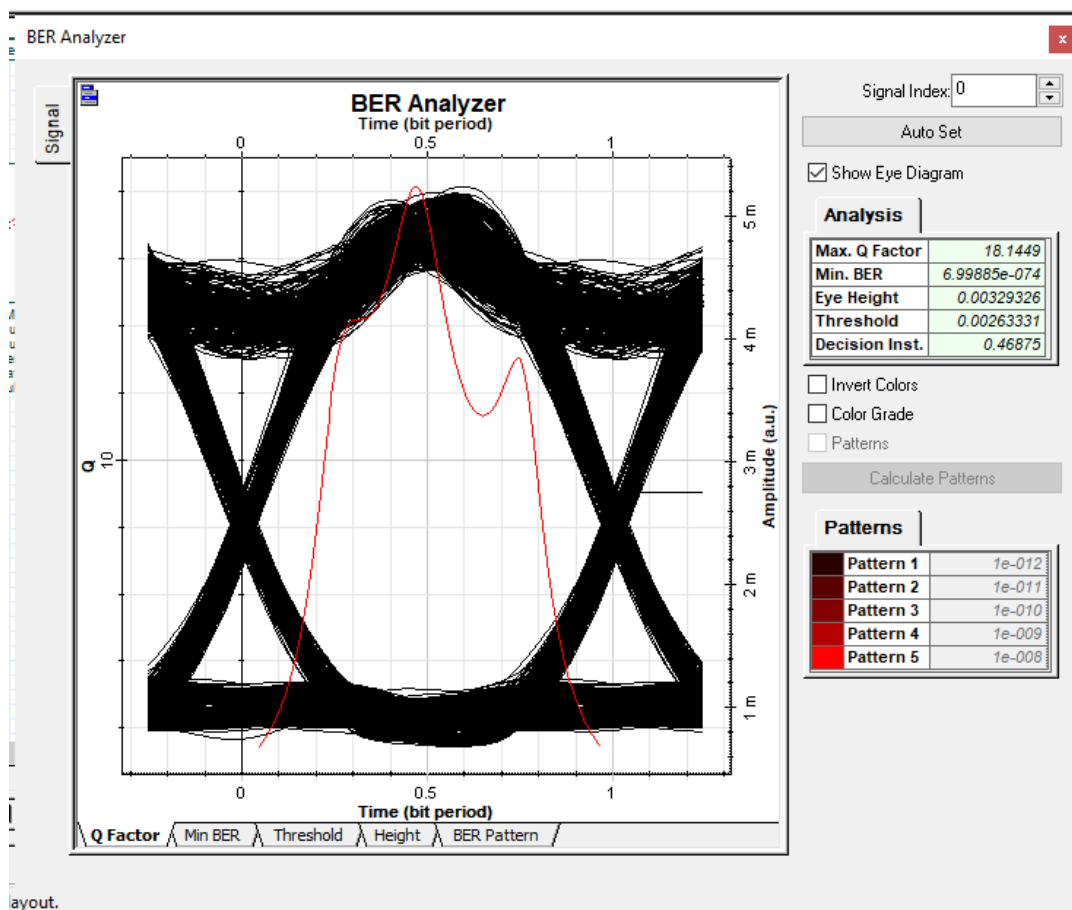


Рисунок 4.3 - Характеристика глаз-диаграммы битовых ошибок для 8 каналов

В среде Optisystem предусмотрено разделение соединительных линий по цветам. Данные цвета зависят от особенностей сигнала, передаваемого по ним.

На графике BER мы видим, что на линии имеются шумы, но глаз-диаграмма открыта, а значит, сигнал доходит до конечного абонента в достаточно удовлетворительном качестве. Так же на это указывает показатель Q-фактор (Quality factor), то есть коэффициент добротности. Q-фактор является показателем, отображающим качество передаваемого сигнала. В данном случае Q-фактор составляет 18,15, а значит, сигнал доходит до абонента в хорошем качестве. в идеале, чем выше значение Q-фактор, тем лучше качество передачи.

В глаз-диаграмме вертикальная составляющая определяется приходящей случайной импульсной последовательностью, а горизонтальная составляющая соответствует периоду тактовой частоты. Значит, временные искажения глаз-диаграммы являются причиной смещения границ «глаза» по горизонтали. По вертикальной составляющей показывается амплитуда синусоиды, насколько передача каждого бита стремится к идеальному состоянию, 100 %-ной передаче по амплитуде.

Для того, чтобы данная глаз-диаграмма была близка к идеальной, чтобы компенсировать различие реальной глаз-диаграммы от идеальной, следует

увеличить отношение сигнал/шум на величину

$$\Delta S/N = 20 \lg (H/h), \text{ (дБ)}. \quad (4.1)$$

Здесь H представляет собой вертикальный «раскрыв» идеальной глаз-диаграммы, а h - «раскрыв» реальной глаз-диаграммы.

Теперь проанализируем оптический спектр сигнала, выходящего из мультиплексора.

На рисунке 4.4 показан спектр - анализ длин волн сигнала, исходящего из мультиплексора. На графике мы видим, что спектр волн практически одинаковый, мощность сигналов каналов очень близка друг к другу.

Анализатор спектра позволяет определить амплитуду и частоту спектральных компонентов, входящих в состав анализируемого процесса. Важнейшей его характеристикой является разрешающая способность: наименьший интервал по частоте между двумя спектральными линиями, которые ещё разделяются анализатором спектра. Анализатор спектра может дать истинный спектр только тогда, когда анализируемое колебание $x(t)$ периодически, либо существует только в пределах интервала T . При анализе длительностей процессов анализатор спектра даёт не истинный спектр.

Также посмотрим, с какой мощностью сигнал входит в линию с помощью элемента Optical power meter. Optical power meter - устройство, используемое для измерения мощности в оптическом канале. Обычно это устройство используется для тестирования средней мощности в волоконно-оптических системах.

Из рисунка 4.5 видно, что сигнал заходит в линию с мощностью 8,143 дБм при мощности передатчика равной 4 дБм (с использованием усилителя сигнала booster).

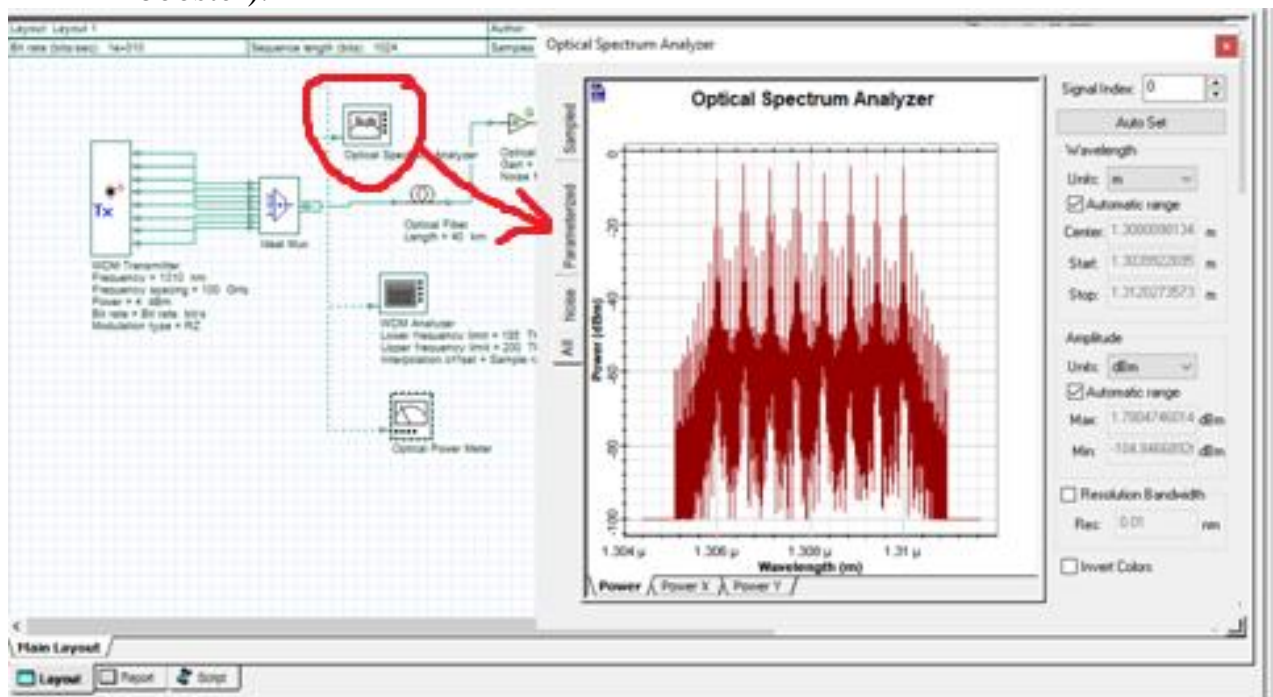


Рисунок 4.4 - Анализ спектра длин волн мультиплексированного сигнала

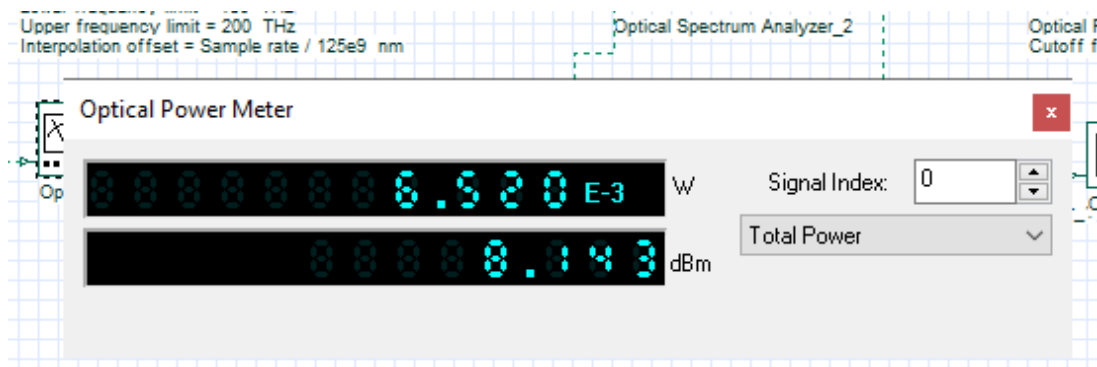


Рисунок 4.5 - Мощность сигнала на входе в линию

Также рассмотрим значения подключенного к выходу мультиплексора WDM analyzer.

На рисунке 4.6 видны данные с анализатора WDM. По ним ясно, что у каждого канала своя частота. Диапазон частот составляет от 1306,0052 до 1310 нм. Также из таблицы мы видим, что у каждого канала свой уровень мощности.

Теперь проанализируем данные на выходе из линии при дистанции $L=50$ км.

На выход линии было подключено два аналитических элемента: Optical spectrum analyzer и Optical power meter.

Из рисунка 4.7 виден спектр мощности сигнала на выходе линии, видим объединенный сигнал на центральной длине волны 1.31 мкм.

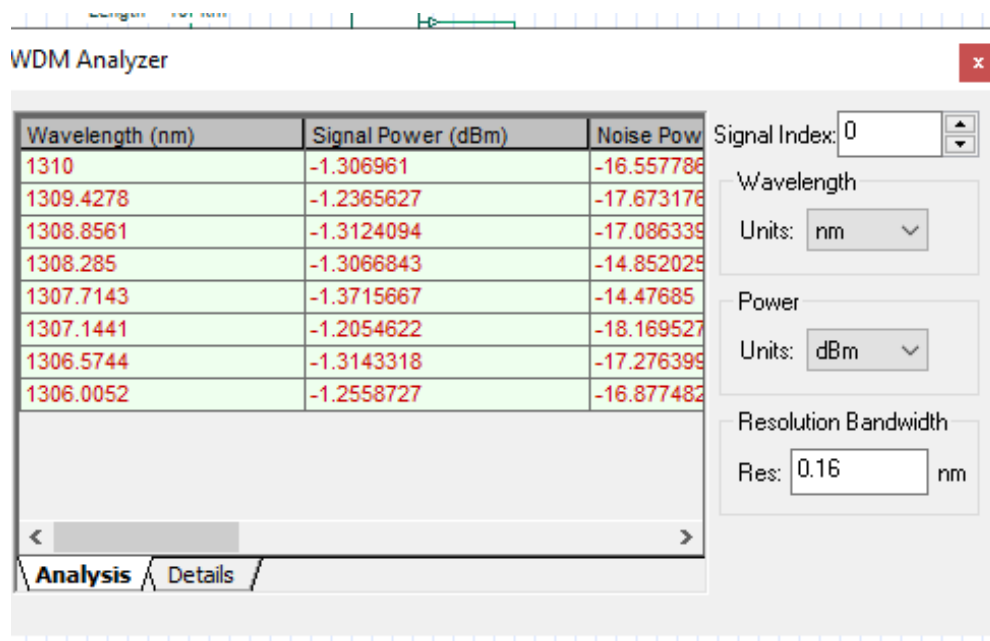


Рисунок 4.6- Данные с WDM анализатора

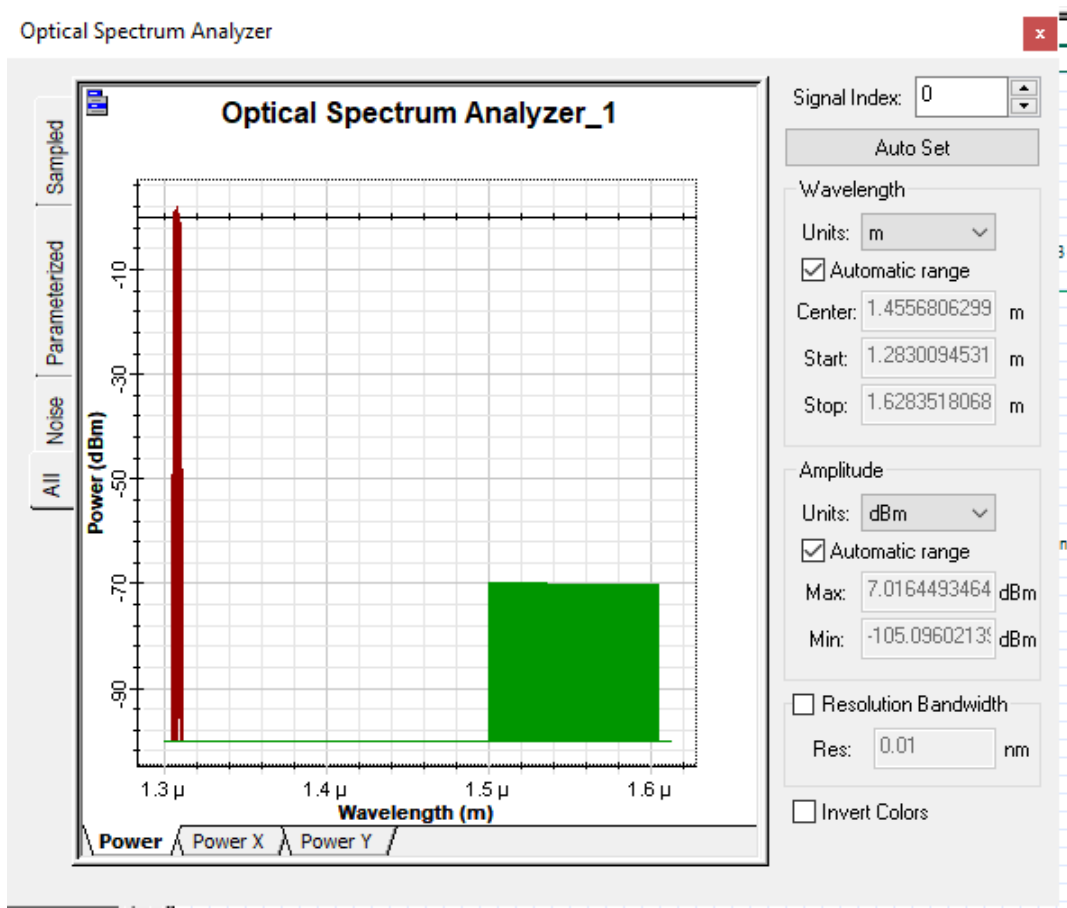


Рисунок 4.7- Оптический спектр анализ на выходе из линии

Из оптического измерителя мощности видно, что мощность на выходе линии изменилась (рисунок 4.9). Длина линии составляет $L=50$ (км). Затухание в оптоволокне составляет $0,21$ дБ/км. Произведем расчет затухания. $A = 0,21 \cdot 50 = 10,5$ (дБ). $P_{out} - A = 8,143 - 10,5 + 15 = 12,8$ (дБм). Где 15 дБм – это коэффициент усиления сигнала. Результирующее значение совпадает со значением с оптического измерителя мощности на рисунке 4.8.

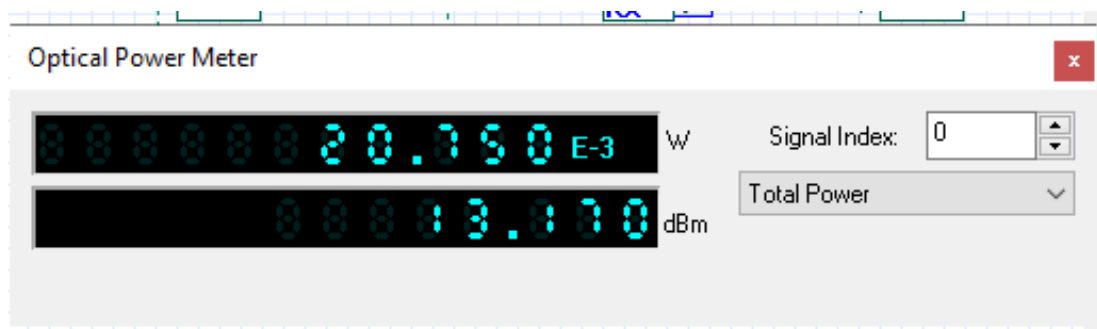


Рисунок 4.8 - Мощность сигнала на выходе линии

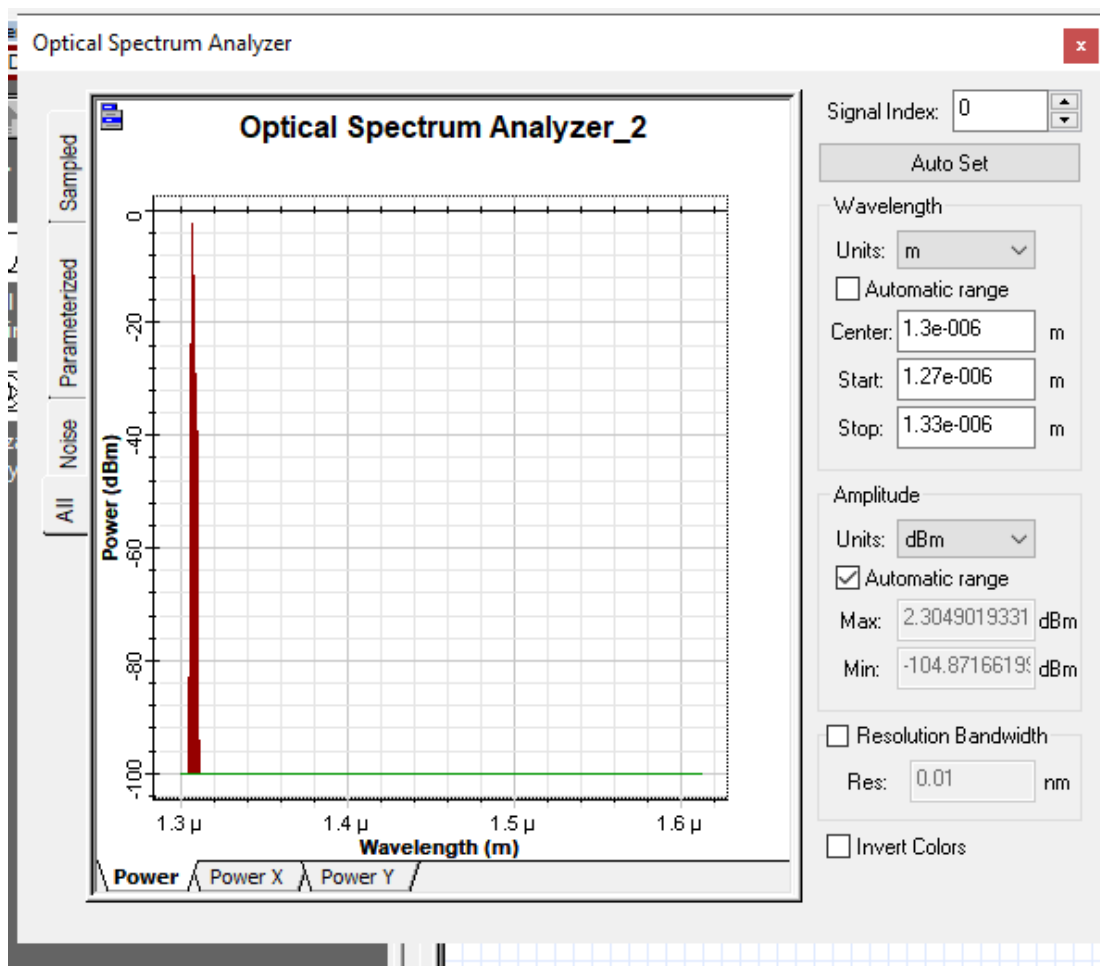


Рисунок 4.9 - Оптический спектр сигнала на выходе из демультиплексора

На рисунке 4.10 видим, что мощность сигнала на выходе демультиплексора изменилась, так как WDM demux внес свое затухание. В нашем случае затухание, вносимое демультиплексором, равняется примерно 7 дБм.

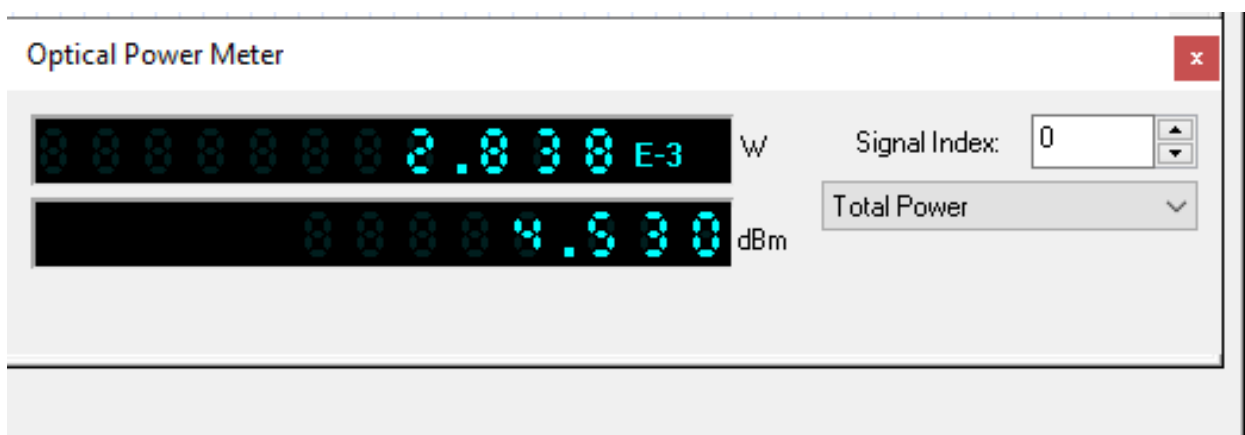


Рисунок 4.10 - Мощность сигнала на выходе из демультиплексора

Проанализируем модель магистральной линии связи для 12 каналов [11] (см. рисунок 4.11).

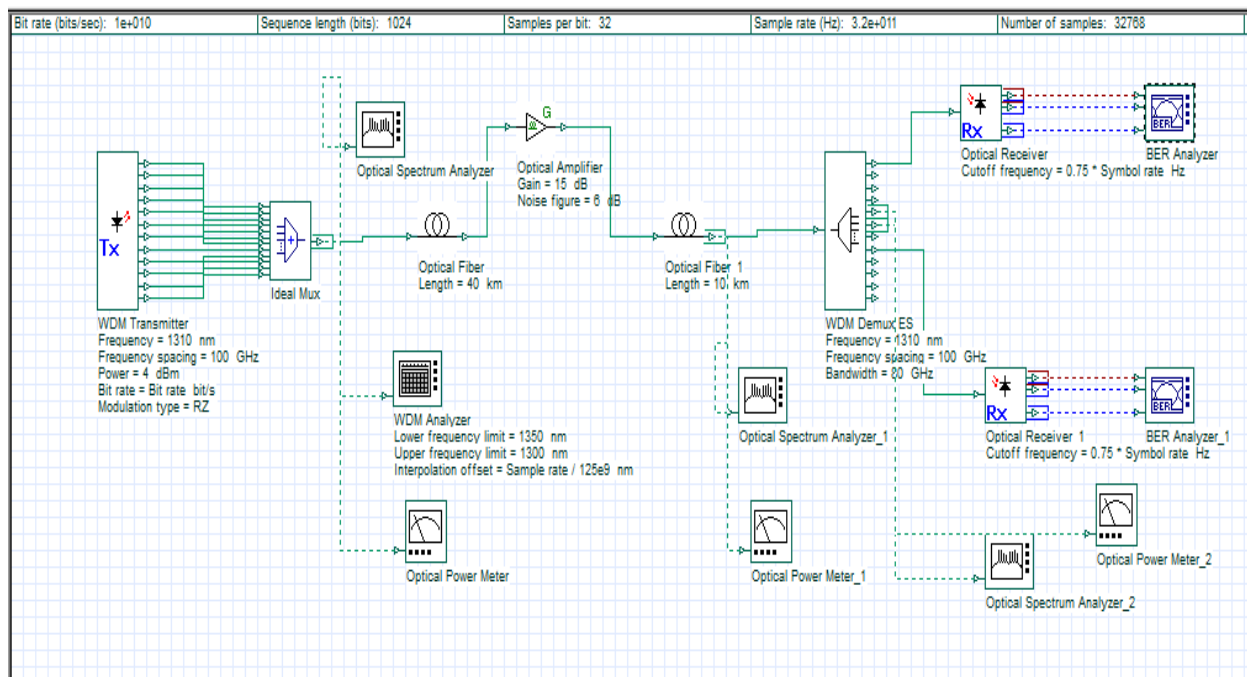


Рисунок 4.11 - Модель магистральной линии связи для 12 каналов

В 12 канальной модели магистральной линии связи так же был использован WDM передатчик, но уже на 12 портов выхода. Тип кодирования, который был использован в данной модели - RZ. Мощность передатчика составляет 4 дБм.

Чтобы мультиплексировать 12 каналов, был использован «идеальный» мультиплексор с 12 портами.

В качестве демультиплексора был использован WDM Demux с разделением по длине волны на 12 каналов.

Для удобства восприятия было также установлено только два оптических приемника вместо 12.

К обоим приемникам были подключены анализаторы BER, показывающие глаз-диаграмму и характеризующие количество битовых ошибок в единицу времени.

На рисунке 4.12 видно, что глаз-диаграмма открыта, хотя на линии присутствуют шумы. Сигнал доходит до абонента в удовлетворительном качестве. Об этом говорит Q-factor- коэффициент добротности. Для данной схемы он составляет 18,63. Это значит, что сигнал доходит до конечного абонента в хорошем качестве.

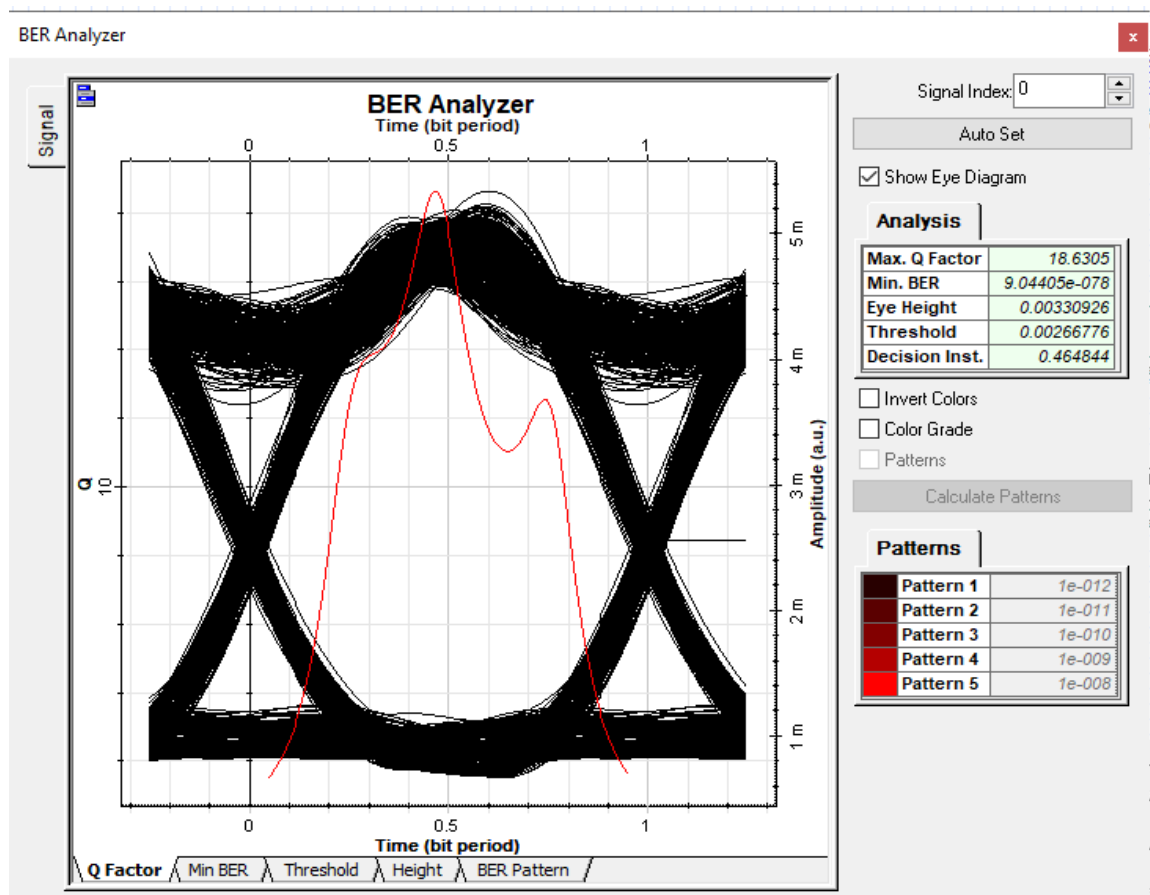


Рисунок 4.12 - Характеристика глаз-диаграммы битовых ошибок для 12 каналов

Коэффициент битовых ошибок min BER составляет $9,04 \times 10^{-78}$. Данный показатель находится в пределах нормы, то есть меньше 10^{-12} .

Рассмотрим и проанализируем оптический спектр сигнала на входе в линию.

На рисунке 4.13 виден спектр длин волн сигнала, выходящего из мультиплексора. Из графика видна мощность каждого из 12 каналов, мощность практически одинаковые.

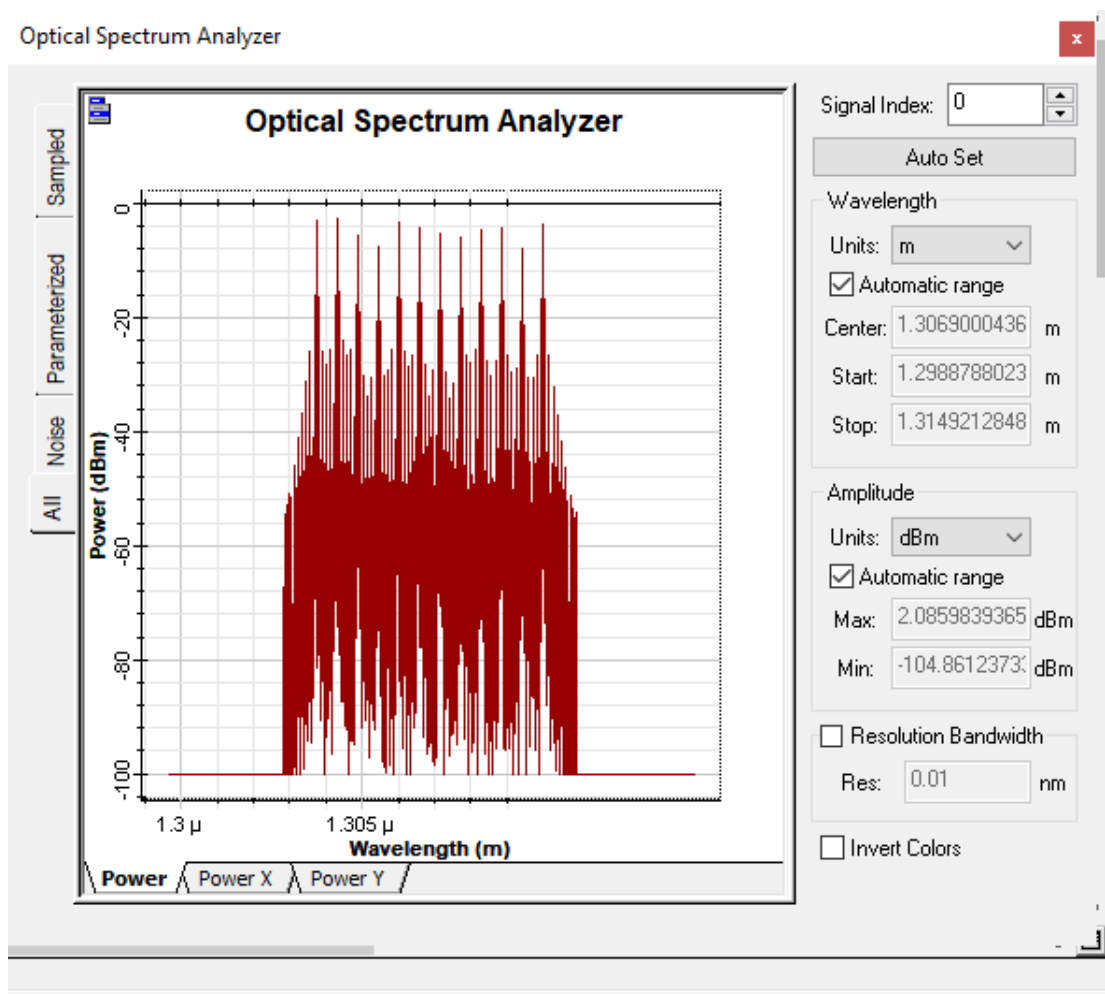


Рисунок 4.13 - Анализ спектра длин волн на входе в линию

Рассмотрим мощность сигнал входящего в линию сигнала с помощью оптического измерителя мощности.

На рисунке 4.14 видно, что сигнал, выходящий из мультиплексора входит в линию с мощностью 9,9 дБм.

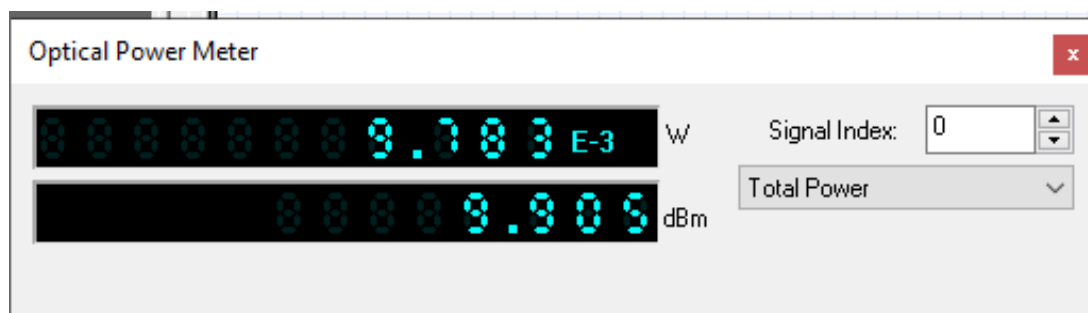


Рисунок 4.14- Оптический измеритель мощности сигнала на входе в линию

Более подробную информацию о распределении длин волн в каналах посмотрим в элементе WDM analyzer (рисунок 4.15).

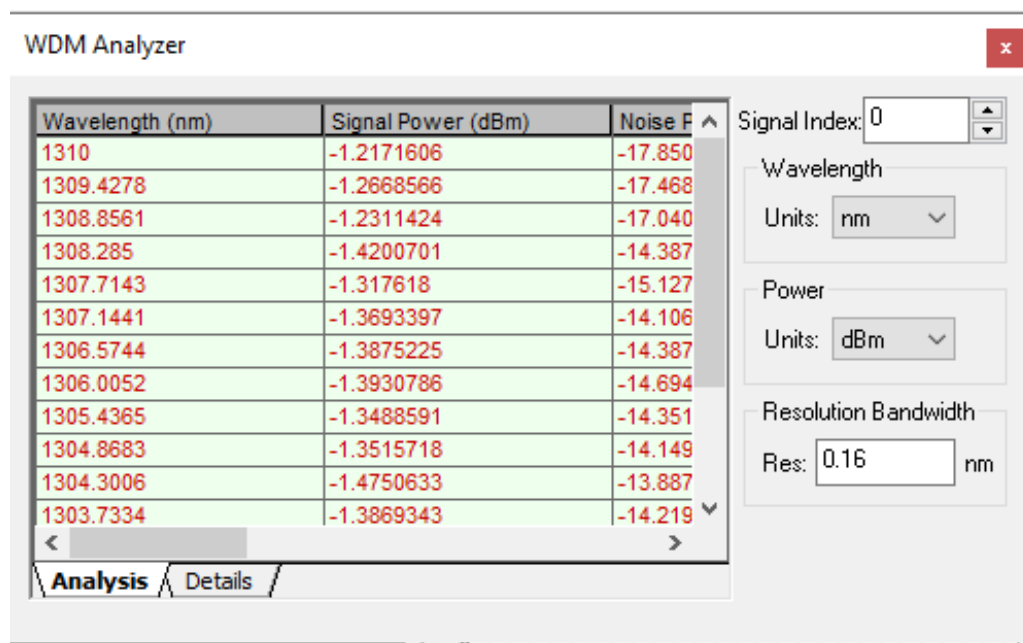


Рисунок 4.15- Окно WDM анализатора для 12 каналов

В таблице окна WDM analyzer видно, что диапазон длин волн 12 каналов, исходящий из мультиплексора находится между 1303,7334 и 1310 нм.

Проанализируем данные сигнала на выходе линии при дистанции 50 км.

На выход линии было подключено два аналитических элемента: Optical spectrum analyzer и Optical power meter.

На рисунке 4.16 видно, что мощность сигнала на выходе изменилась. Это произошло из-за имеющегося в линии усилителя с мощностью равной 15 дБм. Затухание в оптоволокне составляет 0,21 дБ/км. Произведем расчет затухания. $A = 0,21 \cdot 50 = 10,5$ (дБ). $P_{out} - A = 9,9 - 10,5 + 15 = 14,4$ (дБм). Это значение схоже со значением с оптического измерителя мощности на рисунке 4.16.

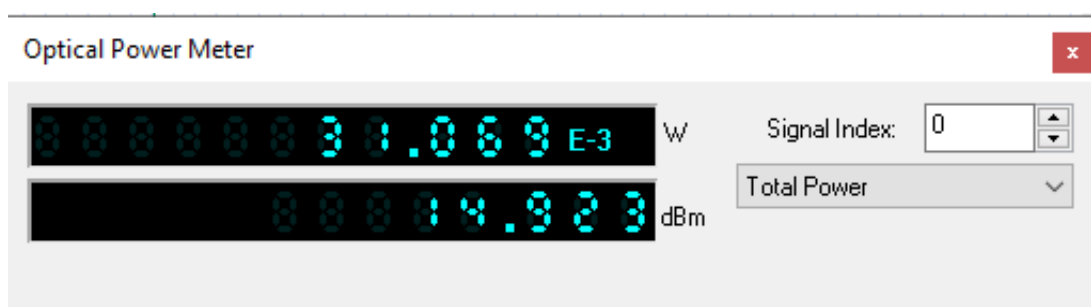


Рисунок 4.16 - Окно измерителя мощности на выходе из линии

На рисунке 4.17 виден спектр мощности сигнала на выходе линии. На длине волны равной 1,31 мкм виден объединенный сигнал.

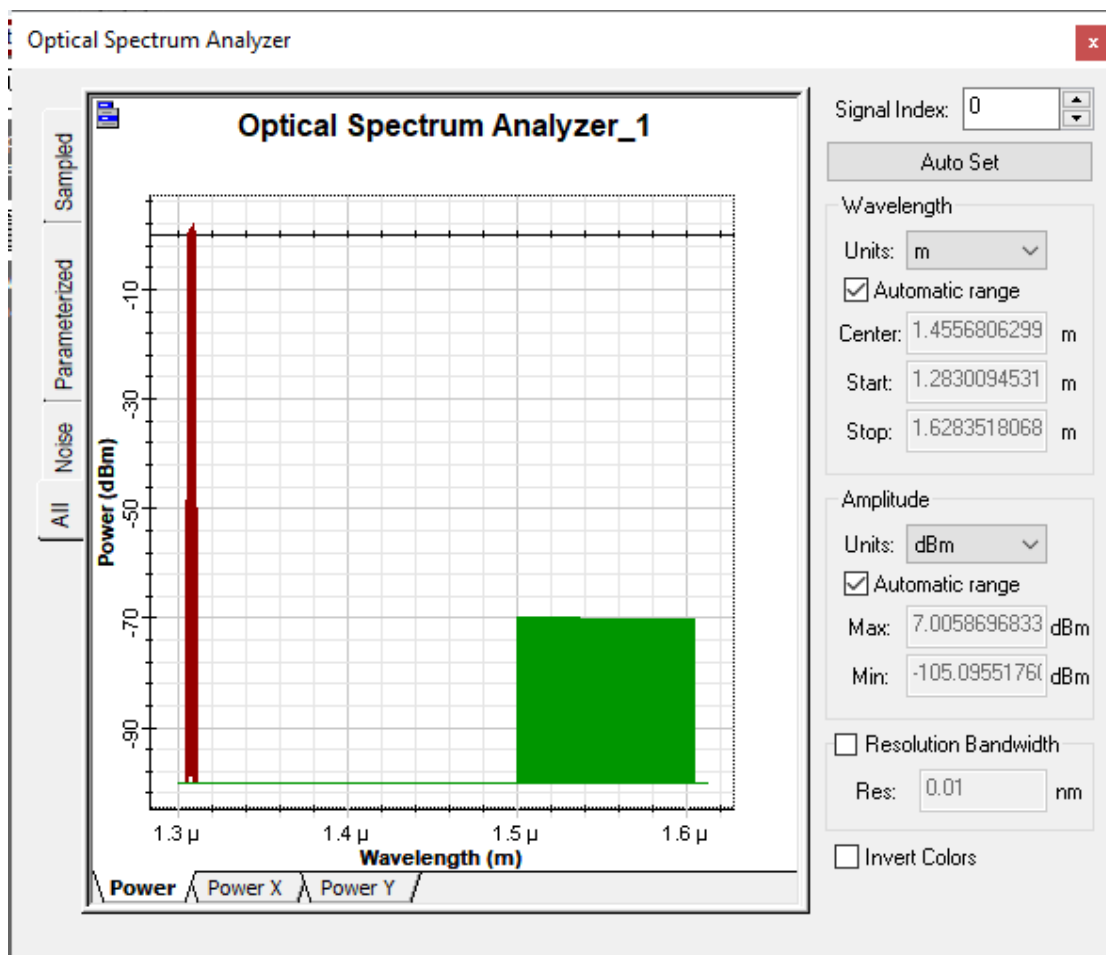


Рисунок 4.17- Спектр сигнала на выходе из линии

На рисунке 4.18 видна мощность сигнала, выходящего из демультиплексора. Мощность сигнала уменьшилась, так как WDM demux имеет свое затухание. В нашем случае затухание демультиплексора составило примерно 8,5 дБм.

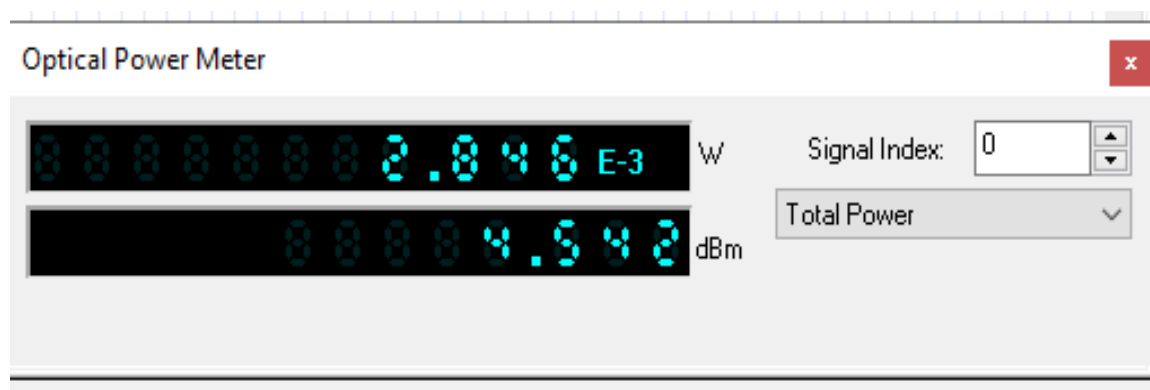


Рисунок 4.18- Мощность сигнала на выходе демультиплексора

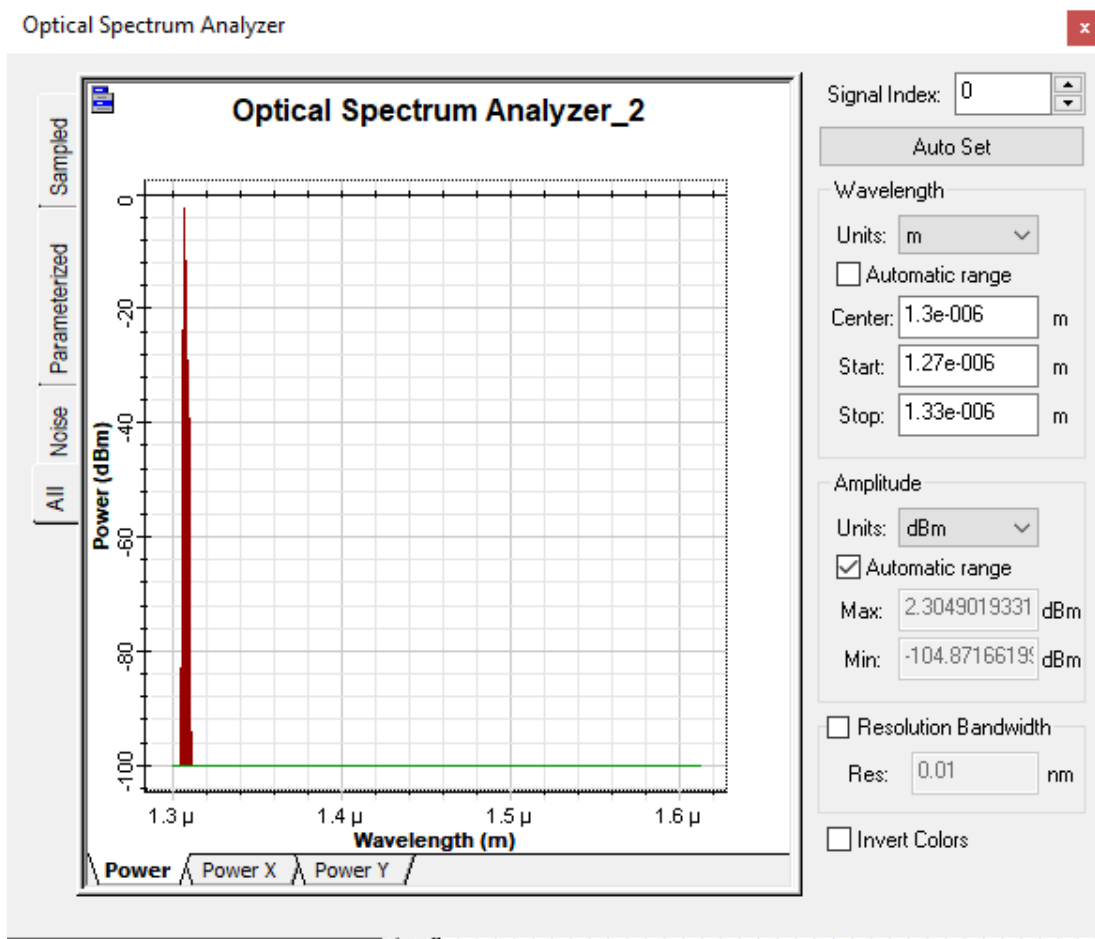


Рисунок 4.19- Спектр сигнала на выходе демультиплексора

Проведем анализ модели магистральной линии на 16 каналов [12].

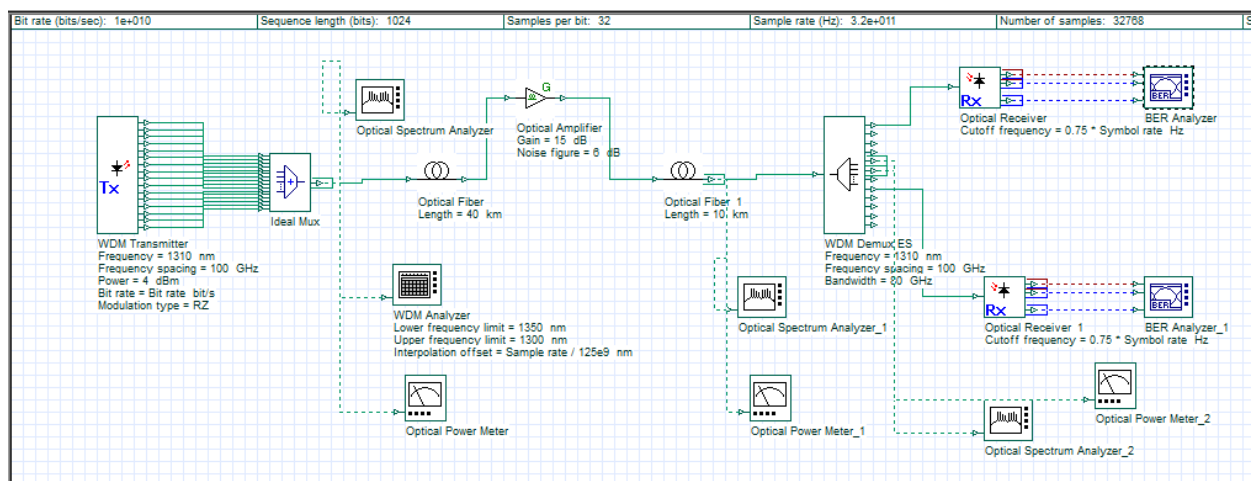


Рисунок 4.20- Модель магистральной линии с 16 каналами

Для построения модели магистральной линии связи с 16 каналами был выбран WDM передатчик с 16 портами. Был использован тип кодирования RZ, мощность передатчика установлена на 4 дБм.

В схеме был использован Ideal mux с 16 портами для мультиплексирования сигналов.

В схеме было использовано оптическое волокно G.652 с километрическим затуханием равным 0,21 дБм/км. После первых 40 км был установлен бустер мощностью 15 дБм.

В качестве демультиплексора был использован WDM Demux с разделением по длине волны на 16 каналов.

Вместо 16 оптических приемников было показано лишь два для удобства восприятия схемы.

К обоим приемникам были подключены анализаторы BER, показывающие глаз-диаграмму и характеризующие количество битовых ошибок в минуту.

На рисунке 4.21 видна глаз-диаграмма сигнала, она открыта. На линии присутствуют шумы, однако сигнал доходит до абонента в хорошем качестве. На это указывает коэффициент добротности Q-factor, равный 18,47. А также коэффициент битовых ошибок BER, равный $1,73 \cdot 10^{-76}$. Этот показатель обозначает отношение ошибочных битов к правильным. Значит, чем ниже значение BER, тем лучше качество сигнала.

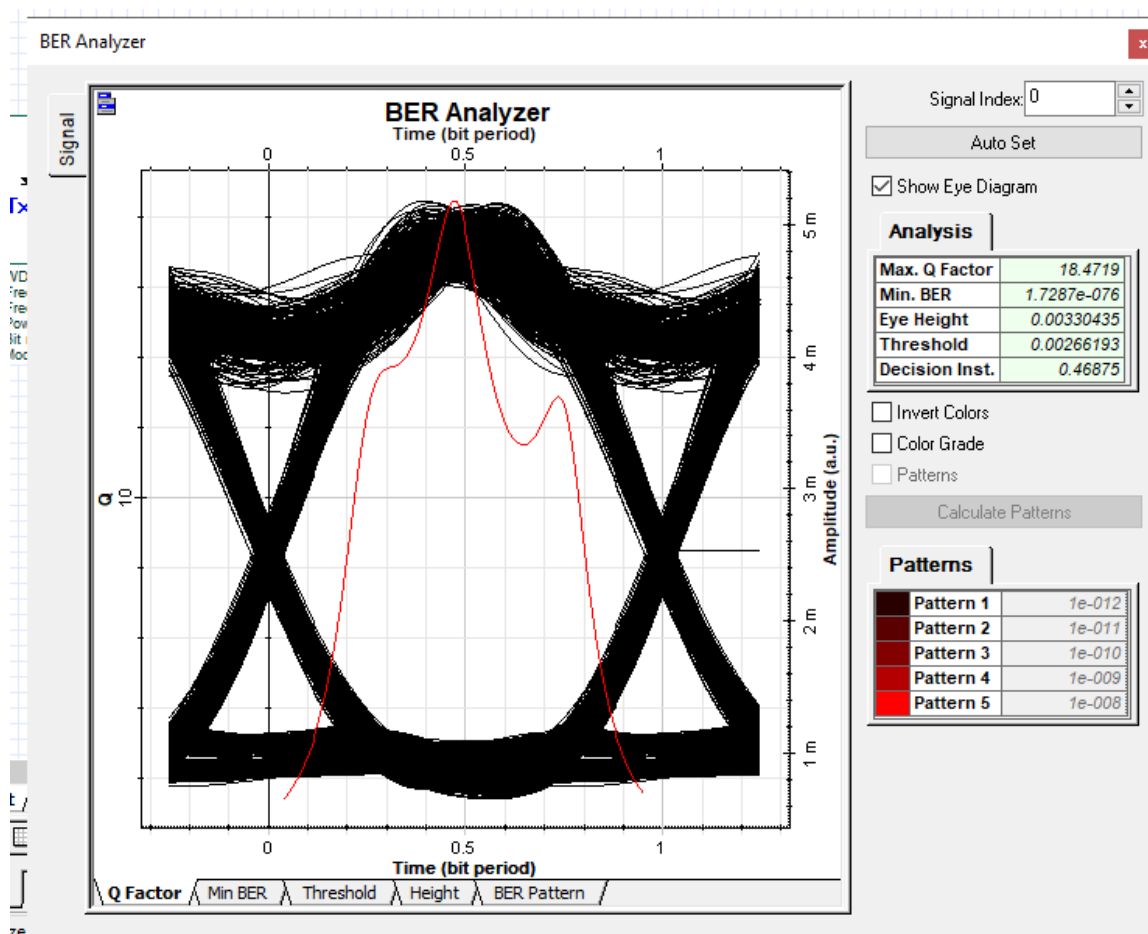
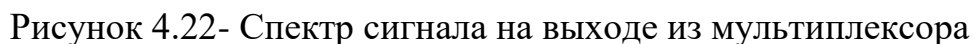


Рисунок 4.21 - Глаз диаграмма сигнала

На рисунке 4.22 виден спектр мощности сигнала, выходящего из мультимплексора. Мощность каждого канального сигнала виден на графике, значения всех мощностей находятся близко друг к другу [13].



Optical Power Meter

Signal Index: 0

Total Power

13.090 E-3 W

10.153 dBm

Отметим значение мощности на входе в линию, равное 11,153 дБм.

На рисунке 4.24 показан диапазон длин волн для каждого из 16 каналов, объединенных в мультиплексоре. Мы видим, что каналы находятся в диапазоне длин волн от 1301,4695 до 1310 нм [14].

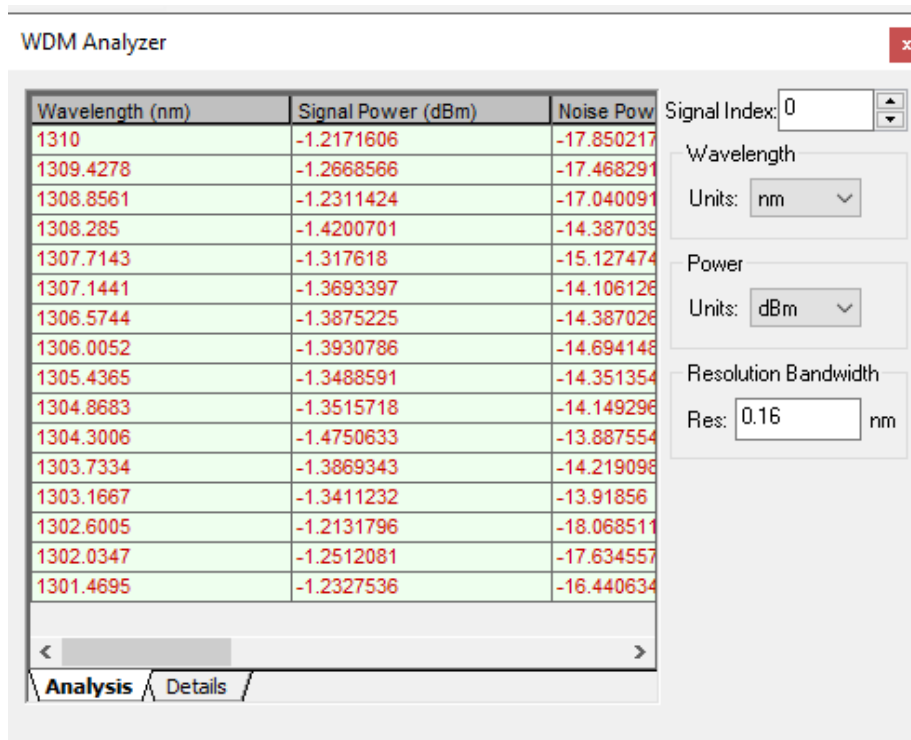


Рисунок 4.24- Окно WDM анализатора для 16 каналов

Рассмотрим характеристики сигнала на выходе из линии, используя Optical spectrum analyzer и Optical power meter.

На рисунке 4.25 видно, что мощность сигнала на выходе из линии увеличилась. Это произошло за счет наличия усилителя в линии с мощностью 15 дБм. Так же на значение мощности сигнала на выходе из линии повлияло затухание в кабеле. Затухание в оптоволокне составляет 0,21 дБ/км. Произведем расчет затухания. $A = 0,21 \cdot 50 = 10,5$ (дБ). $P_{out} - A = 11,153 - 10,5 + 15 = 15,8$ (дБм). Это значение близко к мощности, указанной на рисунке 4.25.

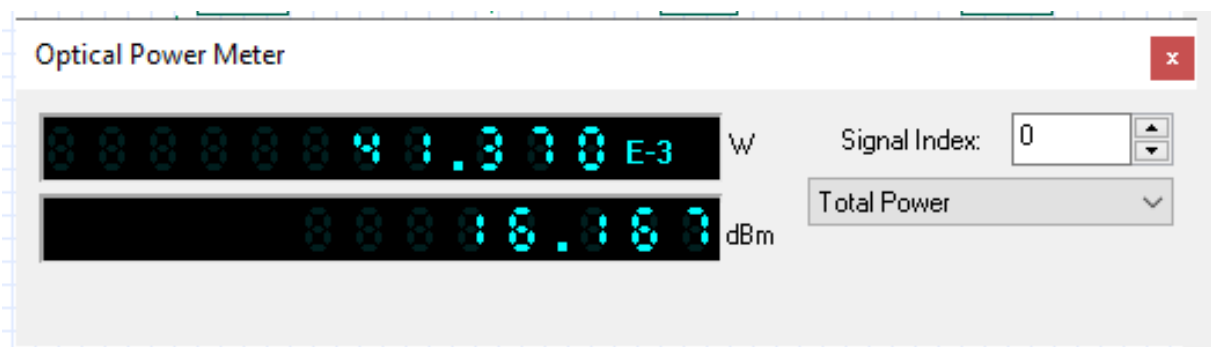


Рисунок 4.25- Измеритель мощности сигнала на выходе из линии

На рисунке 4.26 виден спектр мощности сигнала на выходе из линии. Мы видим объединенный сигнал с серединой частоты 1310 нм.

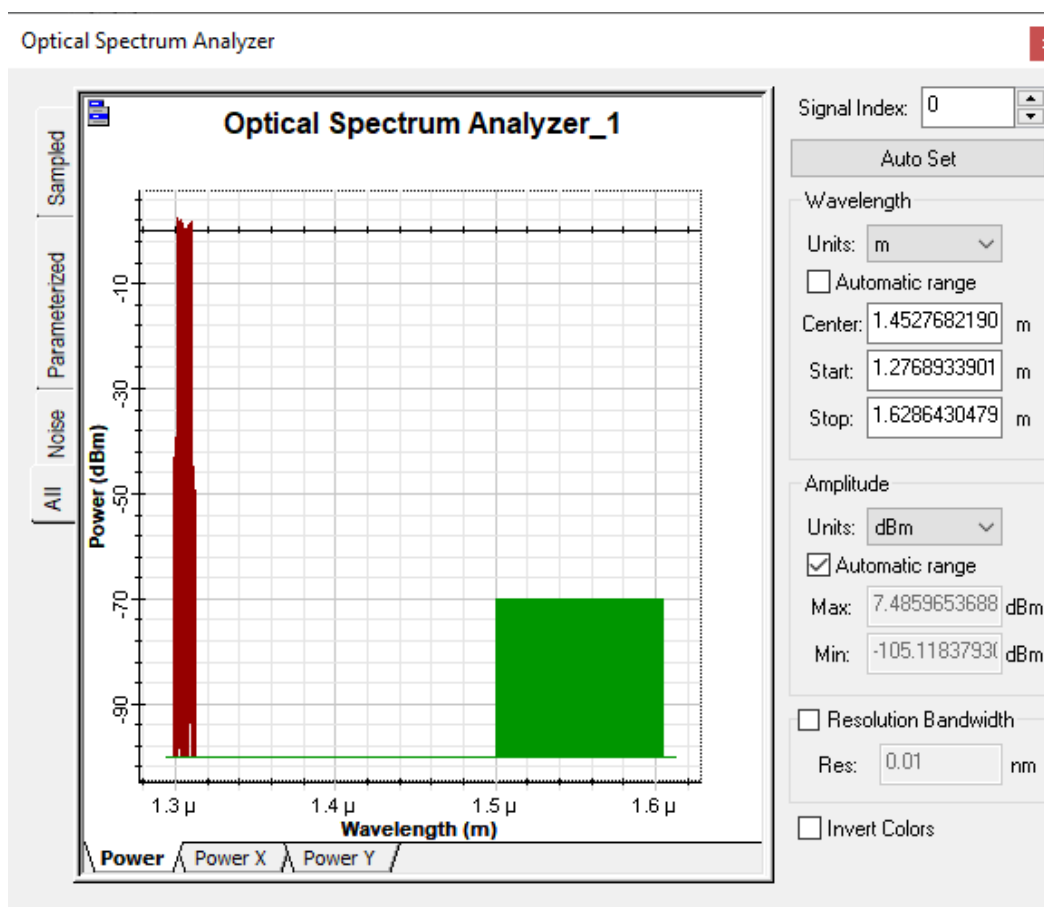


Рисунок 4.26- Спектр анализ сигнала на выходе из линии

Рассмотрим параметры сигнала на выходе из демультиплексора (см. рисунок 4.27).

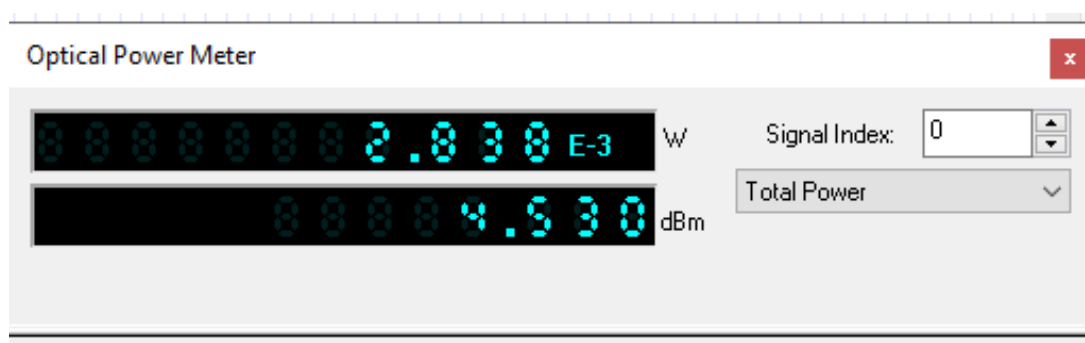


Рисунок 4.27- Измеритель мощности сигнала на выходе из демультиплексора

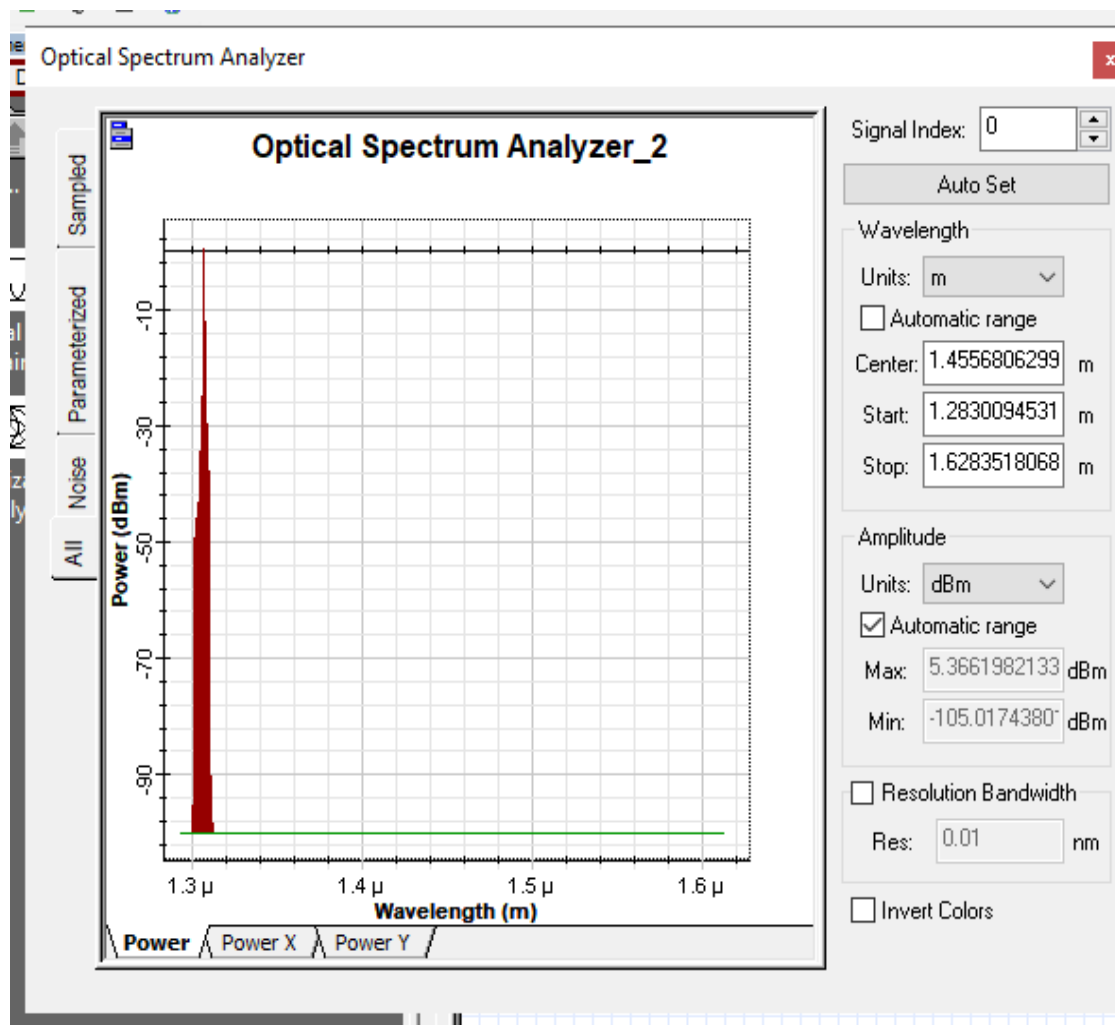


Рисунок 4.28- Спектр сигнала на выходе из демультиплексора

На рисунке 4.28 видно значение мощности сигнала на выходе из демультиплексора. Оно отличается от значения мощности сигнала на выходе из линии, так как демультиплексор внес свое затухание. В данном случае оно равняется 11,637 дБм. Можно сделать вывод, что чем больше портов в демультиплексоре, используемом в линии, тем больше его затухание.

5 Моделирование линии доступа в программе Optisystem

В среде моделирования Optisystem была построена схема линии доступа при дистанции $L = 3$ (км), что представлено на рисунке 5.1.

В линии использовался псевдо случайный генератор последовательностей (Pseudo-random bit sequence generator). Псевдослучайная битовая последовательность может использоваться для генерации двоичной последовательности псевдослучайных битов. Битовая последовательность может быть подключена к визуализатору двоичной последовательности, чтобы можно было увидеть выходную битовую последовательность.

Псевдослучайная битовая последовательность поступает на генератор

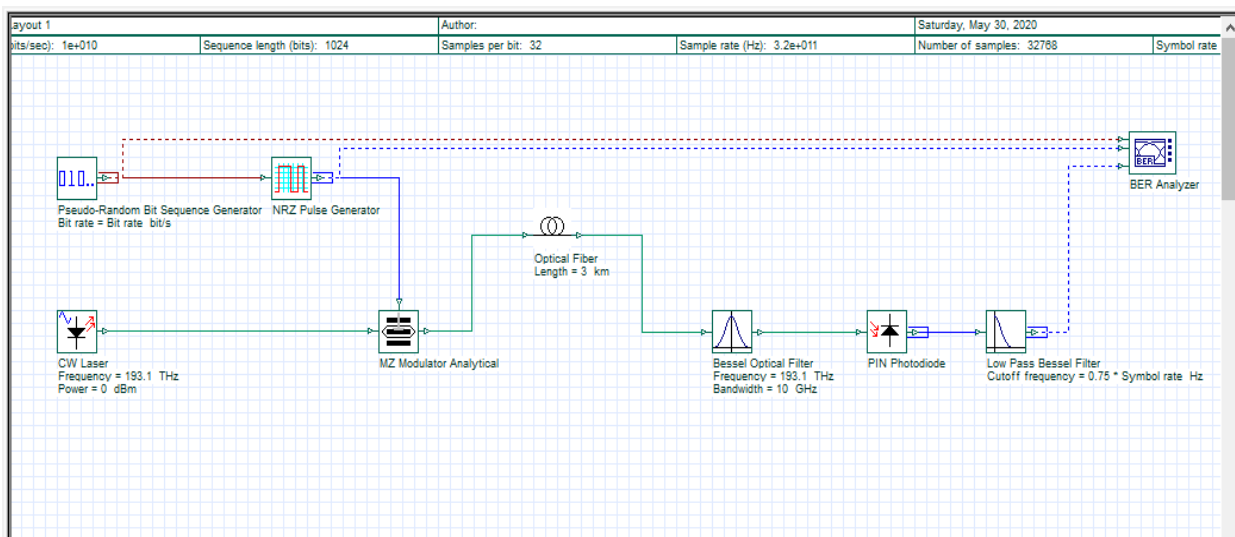


Рисунок 5.1 - Схема линии связи для дистанции 3 км с мощностью 0 дБм

импульсов NRZ (non return to zero). Генератор импульсов NRZ генерирует электрический сигнал без возврата к нулю, который зависит от входа битовой последовательности. Поскольку выход генератора импульсов зависит от битовой последовательности, был подключен генератор псевдослучайных последовательностей чисел к его входу.

Электрический сигнал, сгенерированный генератором импульсов NRZ, поступает на один вход модулятора Маха-Цендера (MZ Modulator).

К другому входу модулятора Маха-Цендера поступает сигнал с элемента CW laser (лазер с непрерывной волной). Лазеры с непрерывной волной производят непрерывный луч света, в идеале с очень стабильной выходной мощностью. Точная длина волны или линии, на которой это происходит, определяется характеристиками лазерной среды. В данной схеме лазер работает на частоте 1550 нм с мощностью равной 0 дБм.

Модулятор Маха-Цендера используется для управления амплитудой оптической волны. Входной волновод разделен на два плеча волноводного интерферометра. Если напряжение приложено к одному из плеч, фазовый сдвиг индуцируется для волны, проходящей через это плечо. Когда два плеча объединены, разность фаз между двумя волнами преобразуется в амплитудную модуляцию.

С модулятора Маха-Цендера сигнал поступает в оптическое волокно. В данной схеме было использовано оптоволокно G.652 с затуханием равным 0,2 дБм/км. Длина оптического волокна составляет 3 км.

На выходе из линии сигнал попадает на оптический фильтр Бесселя (Bessel Optical Filter). Оптический фильтр с функцией передачи частоты Бесселя является одним из наиболее распространенных типов линейных фильтров. Его отличительная особенность заключается в максимально гладкой групповой задержке.

С оптического фильтра Бесселя сигнал поступает на элемент PIN

photodiode. Компонент PIN - фотодиод используется для преобразования оптического сигнала в электрический ток в зависимости от чувствительности устройства.

После фотодиода сигнал поступает на фильтр Бесселя нижних частот. Фильтр с функцией передачи частот Бесселя эффективно пропускает спектр сигнала ниже частоты среза.

К ФНЧ Бесселя подключен BER анализатор. Проанализируем гла-
диagramму, полученную с BER analyzer.

На рисунке 5.2 мы видим открытую глаз диаграмму, значит, сигнал доходит до абонента в отличном качестве. Так же об этом говорит высокий коэффициент добротности сигнала- Q-factor. Он составляет 10,3397.

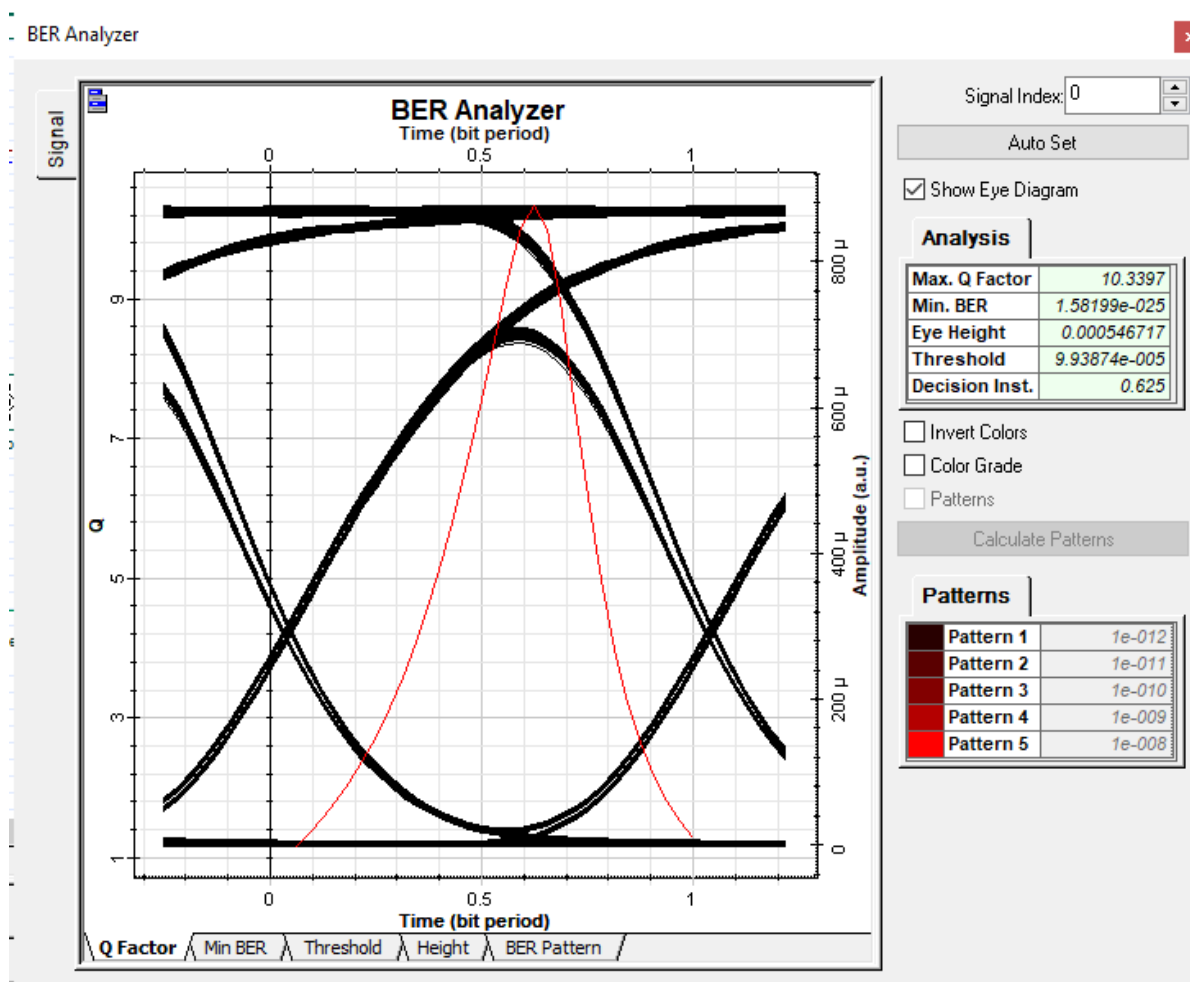


Рисунок 5.2 - Глаз диаграмма, полученная с BER analyzer

Из рисунка 5.2 видно, что значение min BER составляет $1,58 \cdot 10^{-25}$, это значение коэффициента битовых ошибок указывает на высокое качество сигнала, достигающего до конечного абонента.

Увеличим мощность лазера до 1 дБм и проанализируем изменения в сигнале.

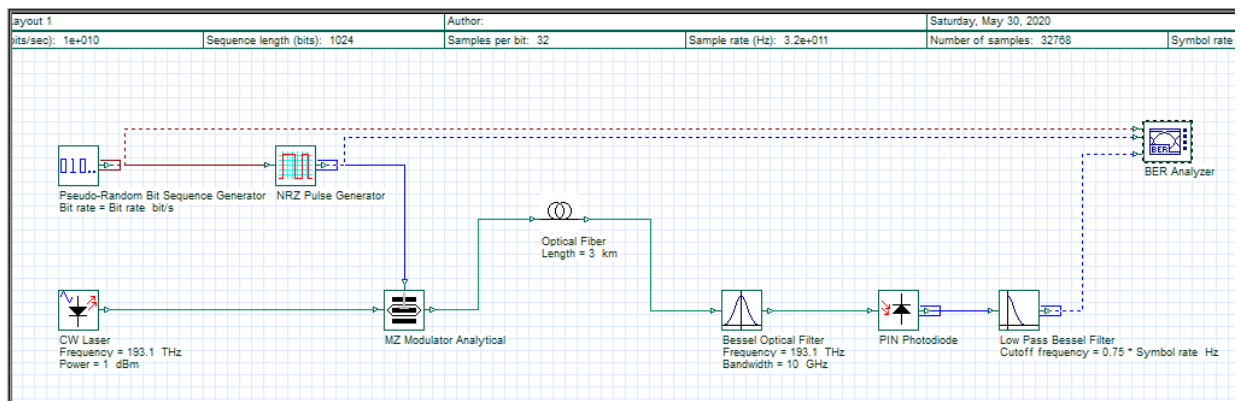


Рисунок 5.3 - Схема линии связи для расстояния 3 км с мощностью 1 дБм

В данной схеме (см. рисунок 5.3) были использованы те же элементы, что и в схеме на рисунке 5.1. Изменен был лишь один параметр в элементе CW Laser. Для данной схемы мы использовали лазер мощностью 1 дБм. Рассмотрим глаз диаграмму и сравним значения min BER и Q-factor с предыдущей схемой.

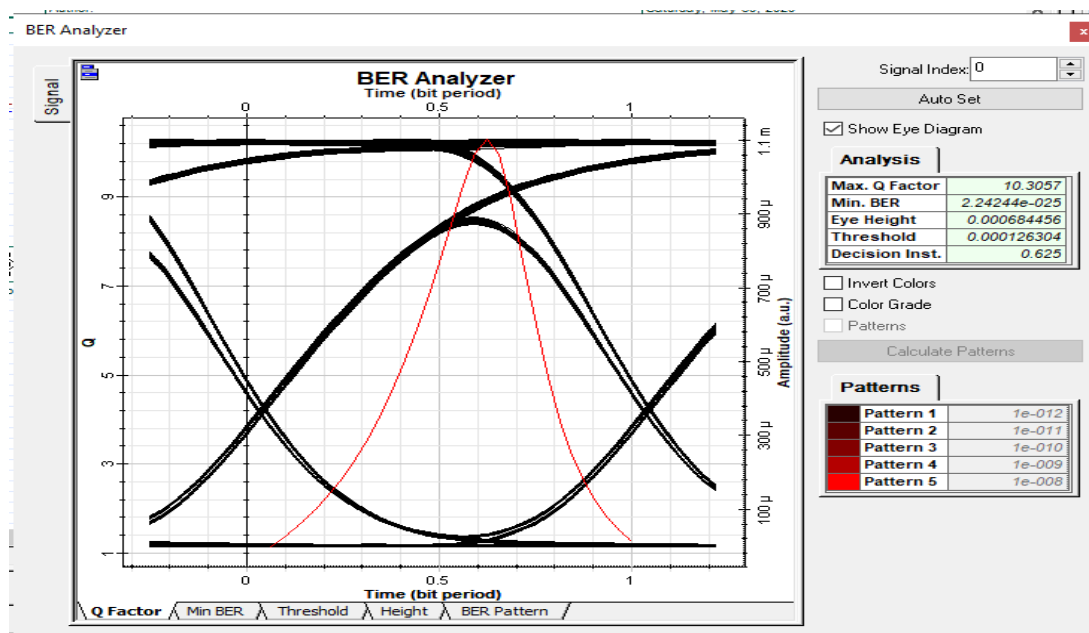


Рисунок 5.4 - Глаз диаграмма для расстояния 3 км с мощностью 1 дБм

На рисунке 5.4 мы видим открытую глаз-диаграмму как и в схеме с мощностью лазера равной 0 дБм. Однако коэффициент добротности немного уменьшился. Q-factor составляет 10.3057. В свою очередь коэффициент битовых ошибок немного увеличился и составил $2,42 \cdot 10^{-25}$. Несмотря на небольшие изменения в значениях коэффициента добротности и коэффициента битовых ошибок, качество сигнала остается очень высоким.

Увеличим мощность лазера до 2 дБм и проанализируем изменения качества сигнала.

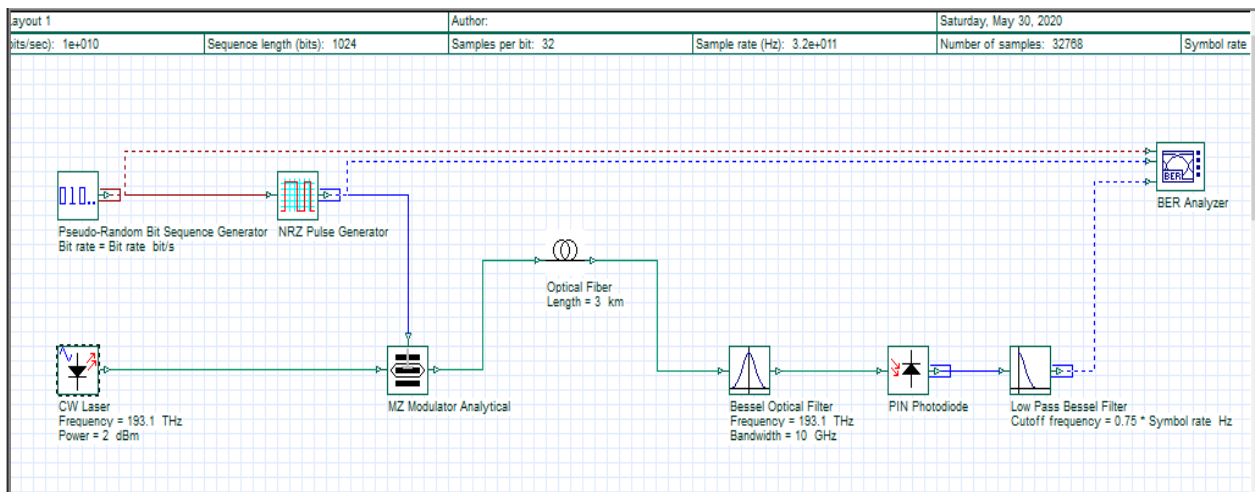


Рисунок 5.5 - Схема линии с расстоянием 3 км и мощностью 2 дБм

На рисунке 5.5 показана линия доступа с расстоянием 3 км и мощностью CW laser равной 2 дБм.

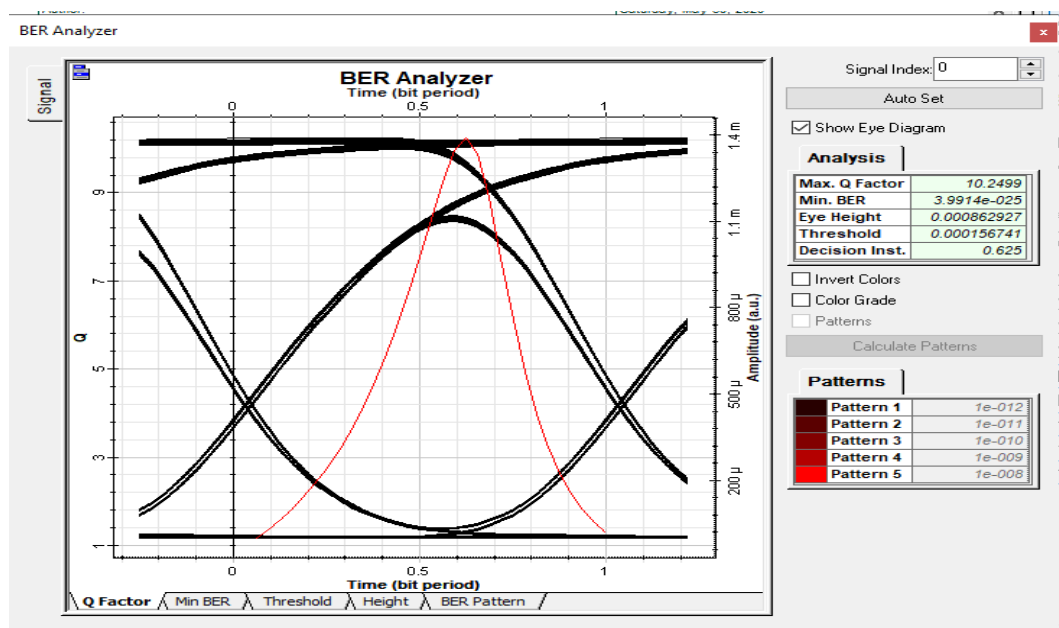


Рисунок 5.6 - Окно BER анализатора с глаз-диаграммой

На рисунке 5.6 мы видим, что глаз-диаграмма практически не изменилась и остается открытой. Проанализируем изменения значения Q-factor и min BER. Значение коэффициента добротности уменьшилось и стало составлять 10,2499. Значение коэффициента битовых ошибок увеличилось и стало составлять $3,99 \cdot 10^{-25}$. Такие маленькие изменения практически не повлияли на качество сигнала, которое остается высоким.

Можно сделать вывод, что увеличение мощности сигнала прямо пропорционально со значением коэффициента добротности и обратно пропорционально значению коэффициента битовых ошибок.

Построим модель линии доступа с расстоянием 5 км и мощностью лазера равной 0 дБм.

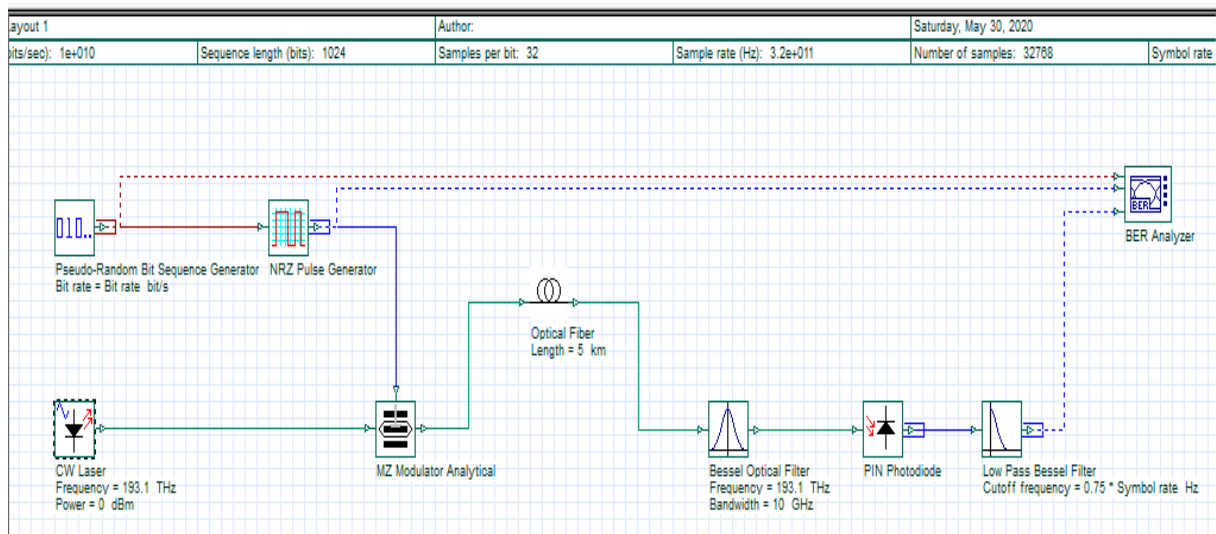


Рисунок 5.7 - Схема линии с расстоянием 5 км и мощностью 0 дБм

В данной схеме были использованы те же элементы, как и в предыдущих схемах. Были изменены параметры CW laser и длина оптического волокна.

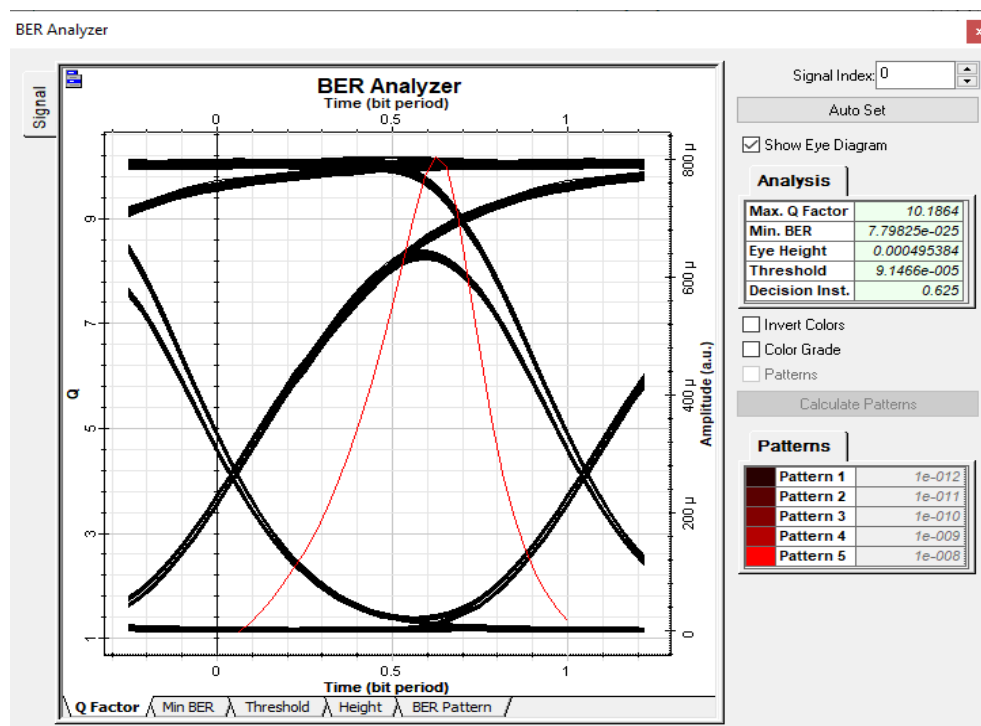


Рисунок 5.8 - Окно BER анализатора с глаз-диаграммой

На рисунке 5.8 мы видим открытую глаз-диаграмму, показывающее на

то, что сигнал доходит до абонента в хорошем качестве. Так же мы видим уменьшение коэффициента добротности. Q-factor составляет 10,1864. Коэффициент битовых ошибок min BER немного вырос и составил $7,79 \cdot 10^{-23}$.

Увеличим мощность CW лазера до 1 дБм и рассмотрим изменения BER.

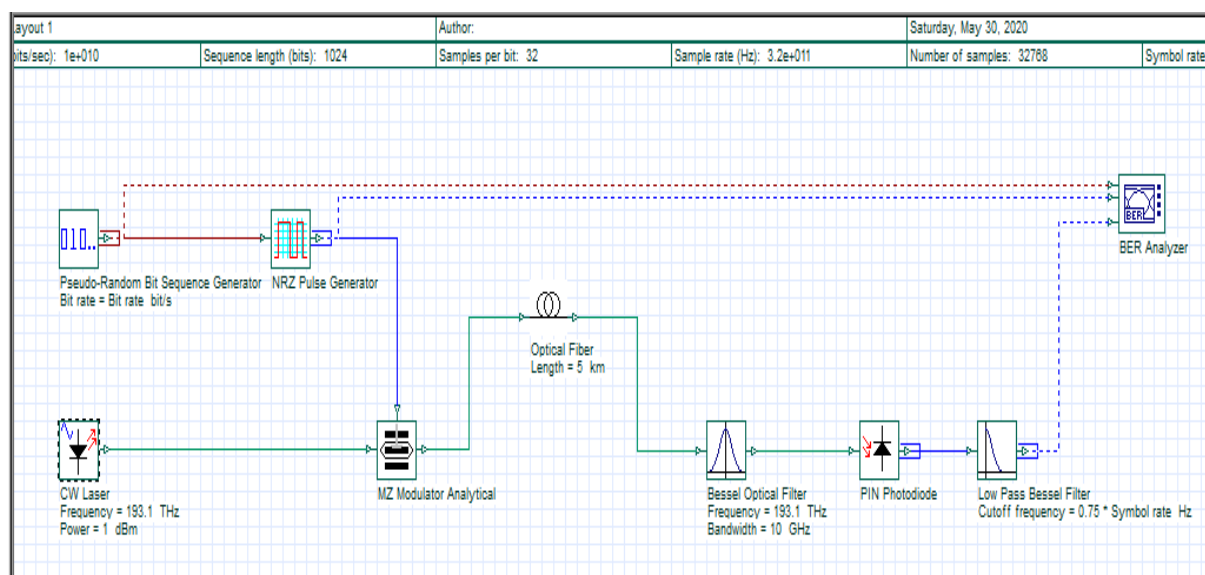


Рисунок 5.9 - Схема линии с расстоянием 5 км и мощностью 1 дБм

В модели линии доступа на рисунке 5.9 была изменена мощность лазера. Была принята мощность равная 1 дБм.

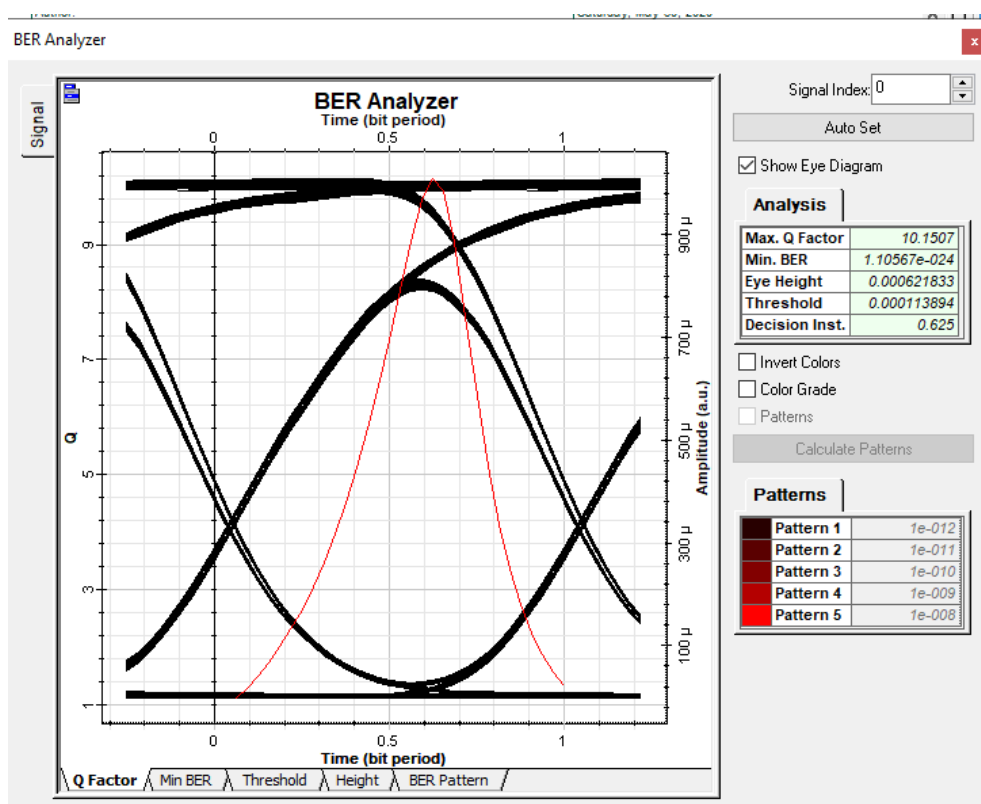


Рисунок 5.10 - BER анализатор и глаз-диаграмма

Из рисунка 5.10 видно, что глаз-диаграмма по прежнему открыта, изменились лишь показатели min BER и Q-factor. Коэффициент добротности уменьшился до 10,1507. Коэффициент битовых ошибок увеличился и составил $1,1 \cdot 10^{-24}$. Эти показатели указывают на незначительное снижение качества передаваемого сигнала.

Изменим мощность лазера на 2 дБм.

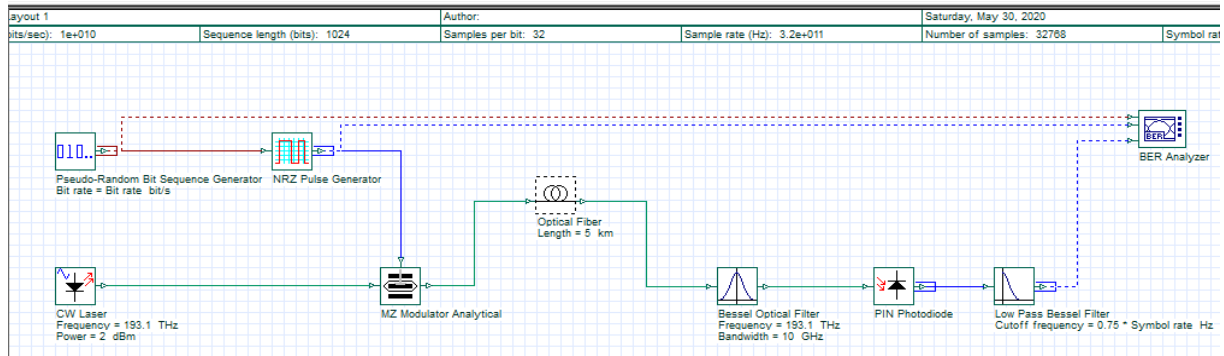


Рисунок 5.11 - Схема линии с расстоянием 5 км и мощностью 2 дБм

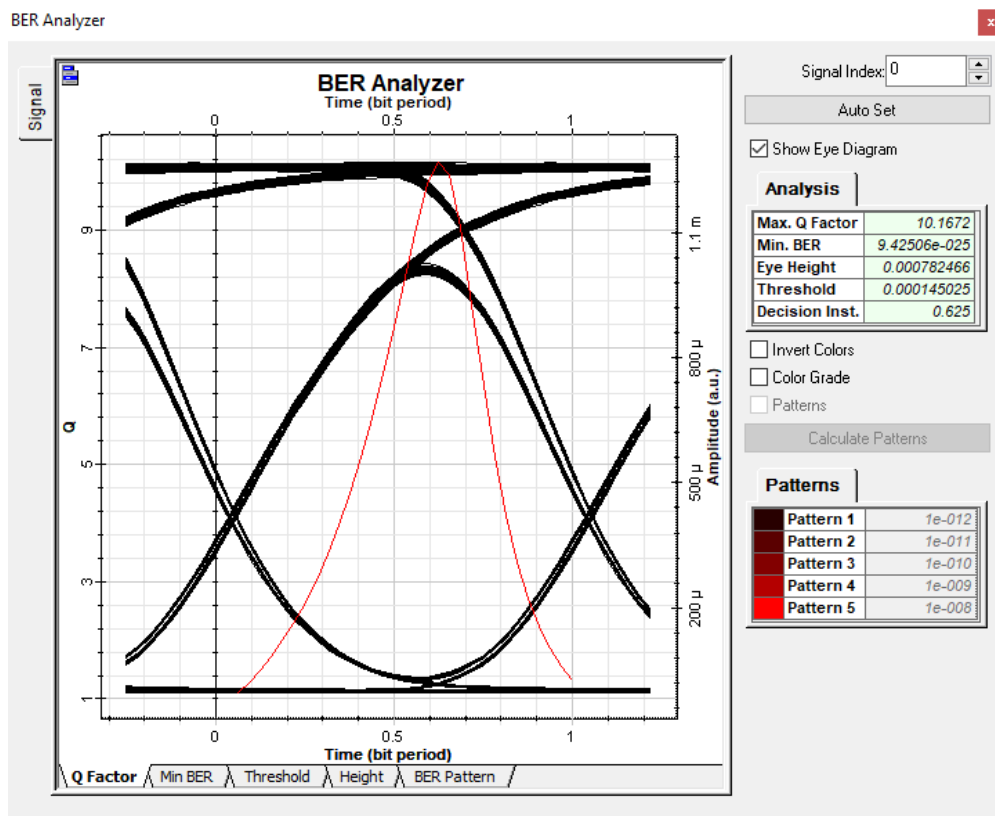


Рисунок 5.12 - Глаз-диаграмма в окне BER analyzer

На рисунке 5.12 видно, что глаз-диаграмма не имеет видимых изменений. Однако мы видим, что коэффициент добротности уменьшился и

составил 10,1672, а коэффициент битовых ошибок увеличился и составил $9,42 \cdot 10^{-24}$. Это значит, что качество сигнала немного ухудшилось.

Построим модель линии доступа с расстоянием 10 км и мощностью лазера 0 дБм.

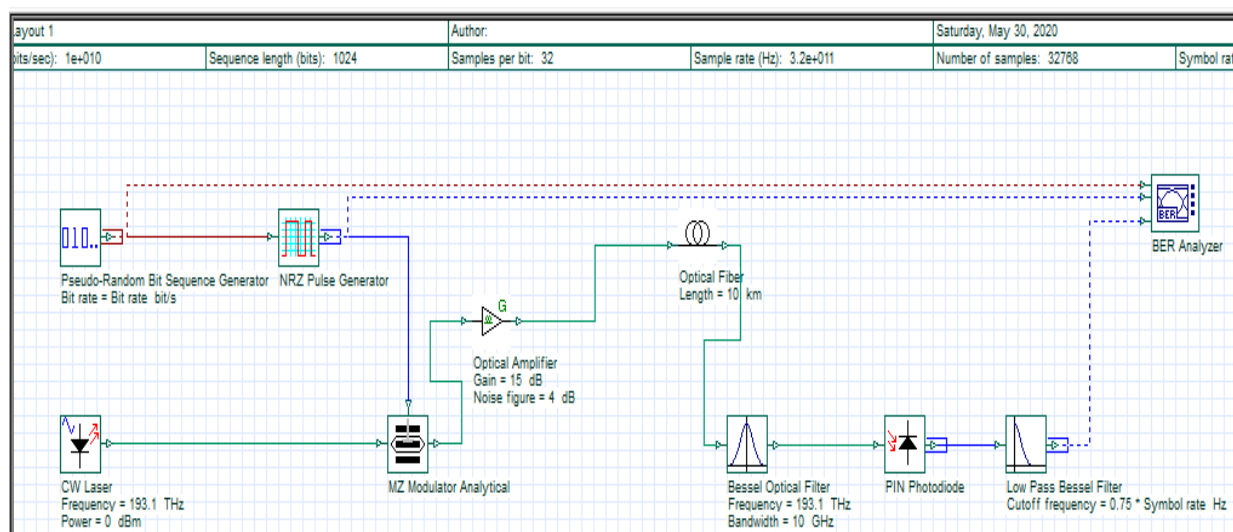


Рисунок 5.13 - Линия связи с расстоянием 10 км и мощностью 0 дБм

В данной схеме был использован усилитель мощности Optical amplifier с мощностью 15 дБм и уровнем шума равным 4 дБ. Остальные элементы схемы были оставлены.

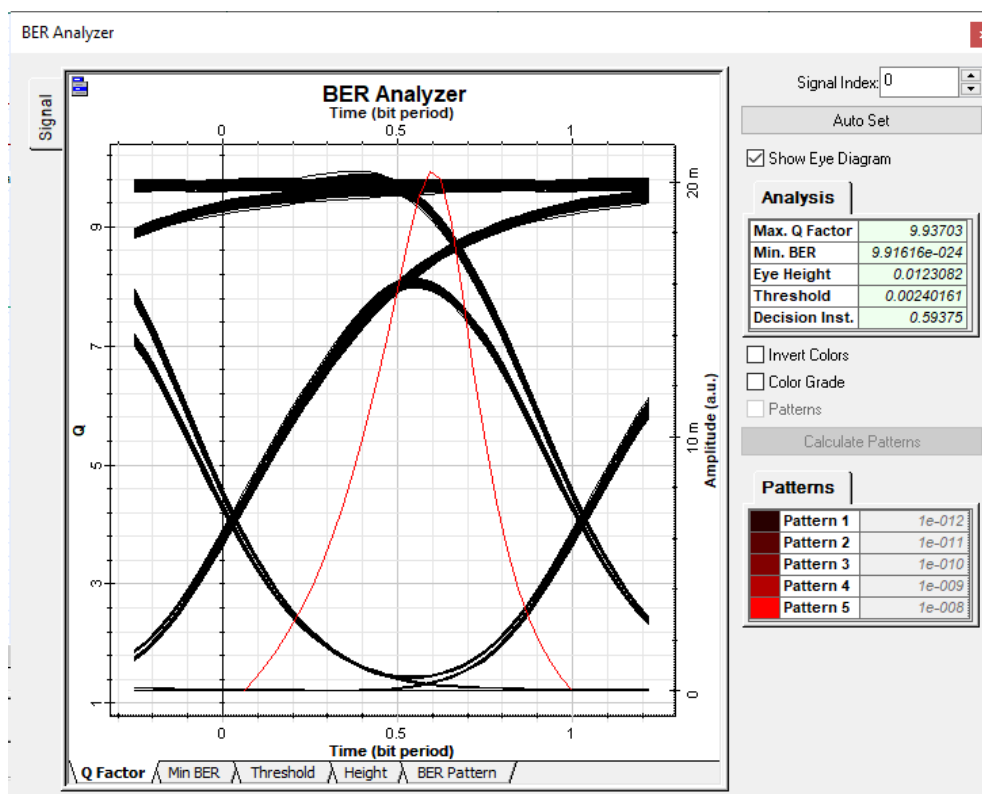


Рисунок 5.14 - Глаз-диаграмма сигнала

На рисунке 5.14 мы видим открытую глаз диаграмму, видимых изменений не наблюдается. Коэффициент добротности уменьшился до 9,937, а коэффициент битовых ошибок увеличился до $9,9 \cdot 10^{-24}$. Эти параметры указывают на ухудшение качества сигнала, хотя оно остается высоким.

Увеличим мощность CW laser до 1 дБм. Все остальные параметры оставим неизменными.

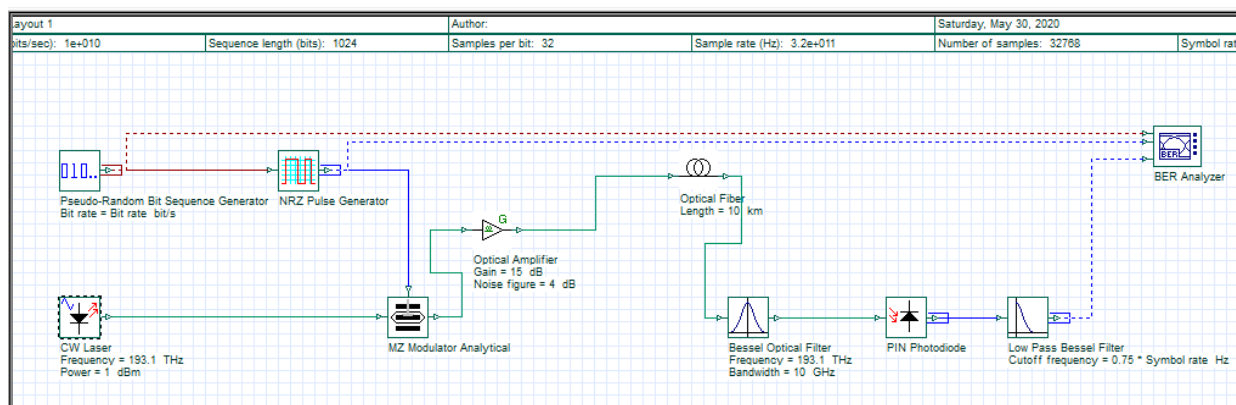


Рисунок 5.15- Схема линии с расстоянием 10 км и мощностью 1 дБм

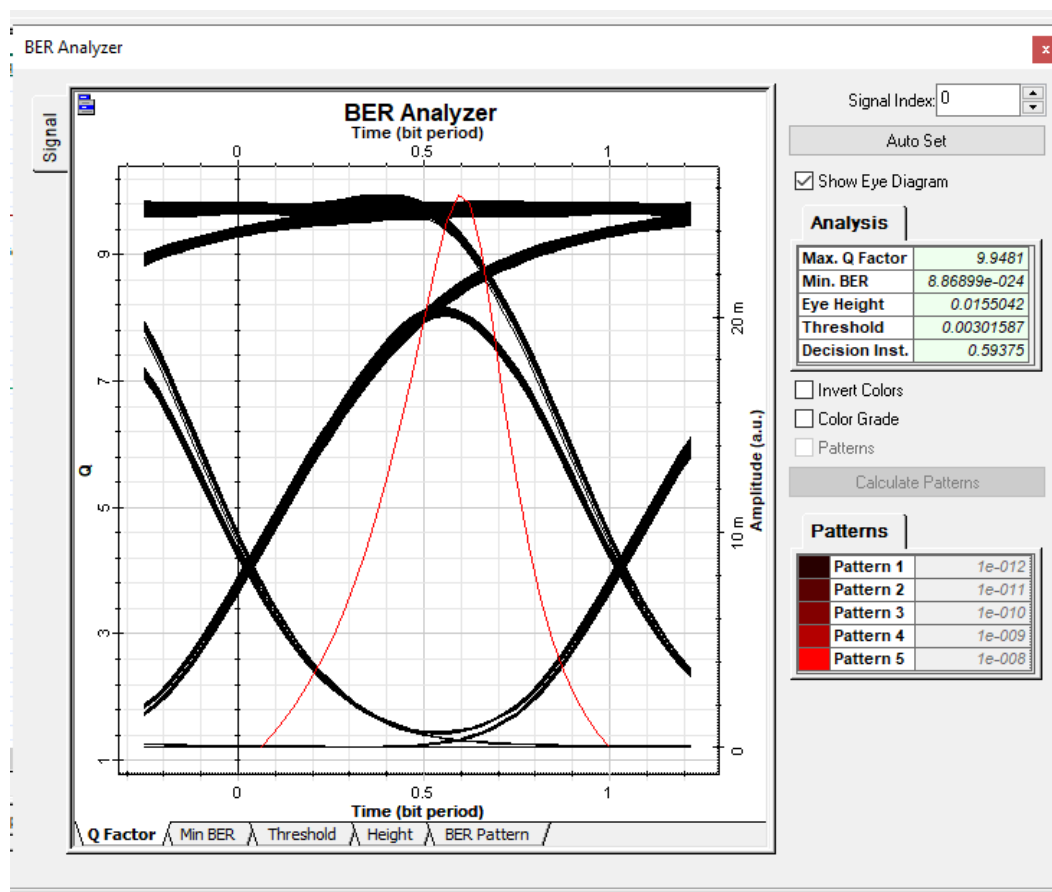


Рисунок 5.15 - Глаз диаграмма сигнала

На рисунке 5.15 видна открытая глаз-диаграмма, указывающая на хорошее качество сигнала, получаемого абонентом. В данной схеме мы видим незначительное увеличение коэффициента добротности. Q-factor составляет 9,94 (видим увеличение на 0,04). Коэффициент битовых ошибок уменьшился и составил $8,85 \cdot 10^{-24}$. Это означает, что качество сигнала улучшилось по сравнению с предыдущей моделью с мощностью лазера равной 0 дБм.

Увеличим мощность лазера до 2 дБм и посмотрим на изменения BER.

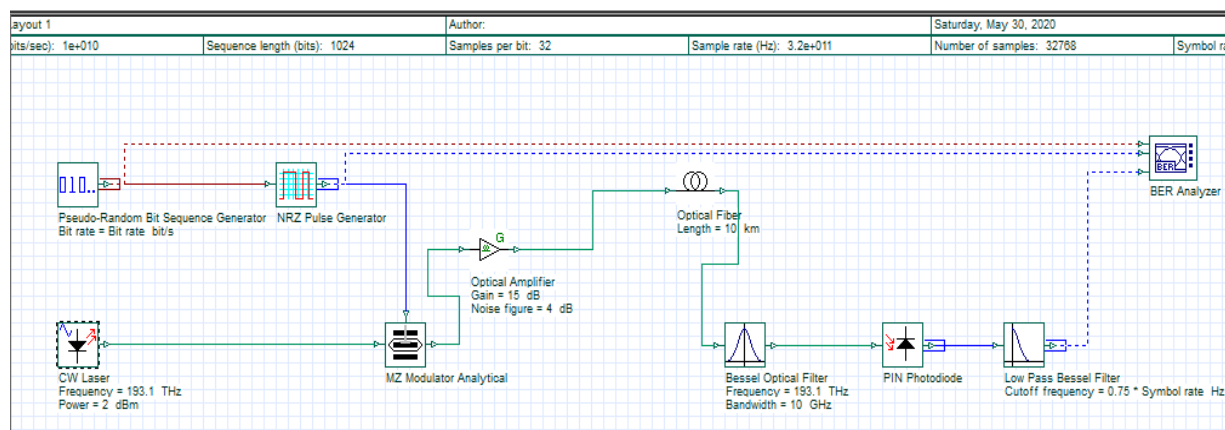


Рисунок 5.17- Схема линии с расстоянием 10 км и мощностью 2 дБм

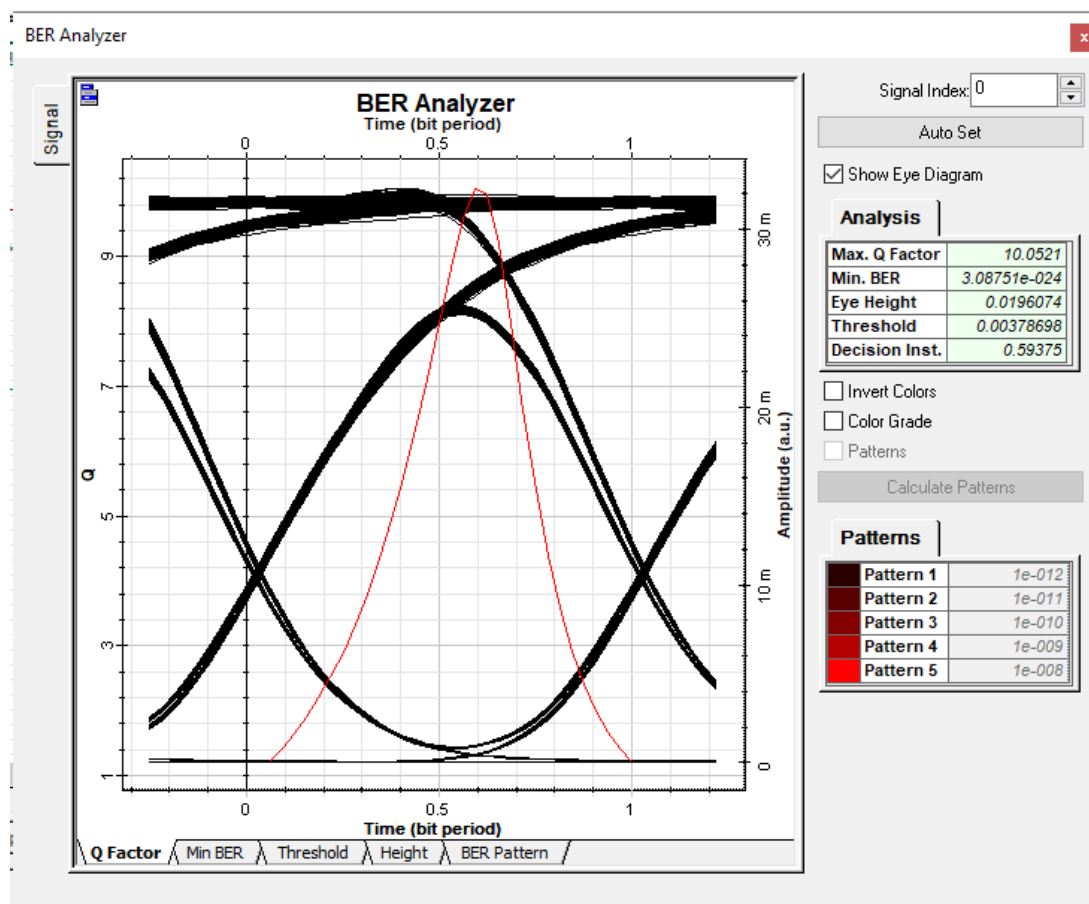


Рисунок 5.18- Глаз-диаграмма сигнала

На рисунке 5.18 показана открытая глаз-диаграмма, обозначающая хорошее качество сигнала. Коэффициент добротности в данной схеме увеличился по сравнению с предыдущей и составил 10,052. А коэффициент битовых ошибок снизился и стал равным $3,08 \cdot 10^{-24}$. Значит, качество сигнала в данной линии связи улучшилось.

Делаем вывод, что при наличии в линии усилителя качество сигнала улучшается с увеличением мощности CW лазера.

6. Безопасность жизнедеятельности

6.1 Краткая характеристика условий труда в офисе

В данном дипломном проекте описывается моделирование линии связи в программе Optisystem. Мы рассмотрим офис программиста, работающего над проектом. Офис находится в одиннадцатизэтажном здании на восьмом этаже.

Согласно требованиям безопасности, чтобы обеспечить нормальные условия труда необходима достаточная освещенность рабочего места, исправность используемого оборудования и его электрическая защищенность, пожарная безопасность, соответствие рабочего места эргономике и необходимый микроклимат для продуктивной работы, не приносящей вреда здоровью человека. Рабочий персонал может также подвергаться опасности из-за вредоносных условий труда, таких как неисправность электрического оборудования, отсутствие или неправильная установка заземления, недопустимые параметры микроклимата (освещение, вентиляция и др.), неосведомленность и несоблюдение техники безопасности.

Огромное влияние на трудоспособность и безопасность работника имеет должное освещение. Неудовлетворительное освещение может затруднить проведение работ, привести к понижению производительности труда, а также стать причиной несчастных случаев и заболеванию глаз. Приемлемый уровень яркости для рабочих помещений- 5000 лк. И если в светлое время суток достаточно естественного освещения, то в темное время следует использовать искусственное освещение.

Еще одним параметром, который влияет на работоспособность и удобство программиста, является уровень шума, не превышающий 80 дБА. Так как здание, в котором находится офис является бизнес центром, находящимся вдоль оживленной улицы, уровень шума на нижних этажах может быть не допустимым. Но описываемый нами офис находится на 8 этаже, оборудование является современным и не шумит, значит, уровень шума является на допустимой отметке.

Вентиляция помещения является одним из основных параметров микроклимата, влияющих на состояние здоровья работника и, следовательно, на его работоспособность. Правильно организованная вентиляция офиса обеспечивает чистый свежий воздух в помещении с нужным показателем

влажности, температуры и скорости потока воздуха, защиту от вредных загрязнений, таких как пыль, дым и выхлопные газы, снижение заболеваемости, высокую производительность труда сотрудников. Для нормирования параметров вентиляции можно использовать вентилятор или кондиционер, а так же установить вентилируемые шахты для правильного поступления воздуха в помещение.

Так же для безопасной работы необходимо исправное оборудование, которое оптимально работает при температуре от 0 до 40 градусов Цельсия, при неконденсированной влажности 5-95%, при переменном токе на напряжении от 100 до 220 В на частоте 50-60 Гц или постоянном токе на напряжении от 48 до 60 В.

В данном дипломном проекте электрическое оборудование в отношении мер безопасности отнесем к устройствам с рабочим напряжением до 1 кВ.

По уровню угрозы поражения электрическим током помещение отнесем к классу без повышенной опасности, которое удовлетворяет таким требованиям как приемлемая влажность и микроклимат, отсутствие пыли, изолированность полов, отсутствие заземленных предметов.

6.2 Организация рабочего места программиста с учетом эргономических требований

Работа программиста в офисе является работой средней тяжести, так как основные обязанности программиста лежат во взаимодействии с компьютером, модемом, принтером и др.

Организация рабочего места осуществляется с учетом современных эргономических требований. Для удобства работника и повышения его продуктивности, используем мебель с возможностью индивидуальной регулировки (высота стула, наклон спинки и др.).

Рабочее место для выполнения работы в положении сидя соответствует требованиям ГОСТа (ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»). В конструкции его элементов учитываем характер работы, психологические особенности человека и его антропометрические данные.

Офис программиста имеет следующие параметры: длина $A=6$ м, ширина $B=4$ м, высота $H=3$ м. Высота рабочей поверхности над уровнем пола 0,8 м, окна начинаются с высоты 0,8 м, высота окон 1,8 м. Рядом стоящее здание на расстоянии 10 м, высотой 21 м, с других сторон затеняющих зданий нет.

В офисе размещено следующее оборудование:

- ноутбук Lenovo;
- принтер HP;
- модем TP-Link;
- персональный компьютер.

План размещения оборудования показан на рисунке 6.1.

В офисе находится один программист, по требованиям ГОСТа на одного человека должно приходиться не менее $6,5 \text{ м}^2$ площади помещения. Офис имеет площадь 24 м^2 , что соответствует нормам ГОСТа.

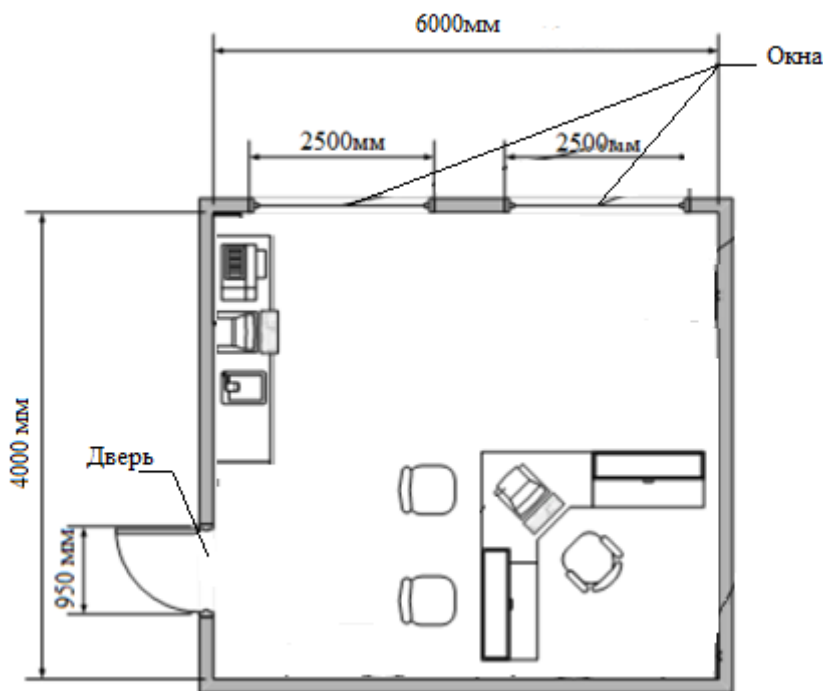


Рисунок 6.1- План размещения оборудования в офисе

6.3 Нормирование параметров микроклимата

В офисном помещении размером $6 \times 4 \times 3$ метра объемом 72 м^3 работает 1 человек. Т. о. в помещение должен подаваться следующий объем наружного воздуха: при кубатуре помещения до 30 м^3 на одного работающего – не менее $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека. Воздух, который поступает в офис, очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов. Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяных паров.

Так же в офисе проведены меры по организации пожарной безопасности. Данное помещение можно отнести к пожароопасным, так как в них находятся горючие и трудногорючие материалы. В офисе находится план эвакуации из здания.

6.4 Технические решения обеспечения безопасности

6.4.1 Организация освещения. Освещенность помещения является одним из ключевых факторов безопасной работы и повышения продуктивности работников. При неприемлемом освещении человек быстро устает, увеличивается вероятность ошибок, а также увеличивается вероятность получения травм. Неправильная организация освещенности приводит к рабочей миопии (близорукости), от которой страдает 5% работников.

Освещение офиса должно удовлетворять следующим условиям:

- освещенность рабочих поверхностей соответствует гигиеническим нормам для данного вида работы;
- в поле зрения отсутствует блеск источников света и других предметов;
- естественное освещение является боковым. Два окна размером $2,5 \times 1,8$ метра. Величина коэффициента естественной освещенности (к. е. о.) при выполнении работ средней зрительной точности не ниже 1,2 %.

- для искусственного освещения используются освещаются двумя светильниками типа РСП113-400 с лампами ДРЛ мощностью 125 Вт. Один светильник имеет две лампы. Светильники в количестве 2 штук располагались в два ряда. Общая нормированная освещенность составляет 150 лк. В качестве средств затемнения в офисе используются регулируемые жалюзи с голубыми горизонтальными пластиковыми ламелями. Окна находятся с одной стороны офиса. Для средней тяжести работ требуется освещенность в 200 лк, поэтому следует рассчитать параметры искусственного освещения для замены используемых ламп на лампы, световые параметры которых нам подходят.

6.4.2 Мероприятия по устранению или снижению недостаточной освещенности рабочей зоны. Офис площадью 24 м^2 высотой 3 м освещается двумя светильниками типа РСП113-400 с лампами ДРЛ мощностью 125 Вт. В каждом светильнике по 2 лампы. Светильники расположены на расстоянии друг от друга 2 м (см. рисунок 6.2).

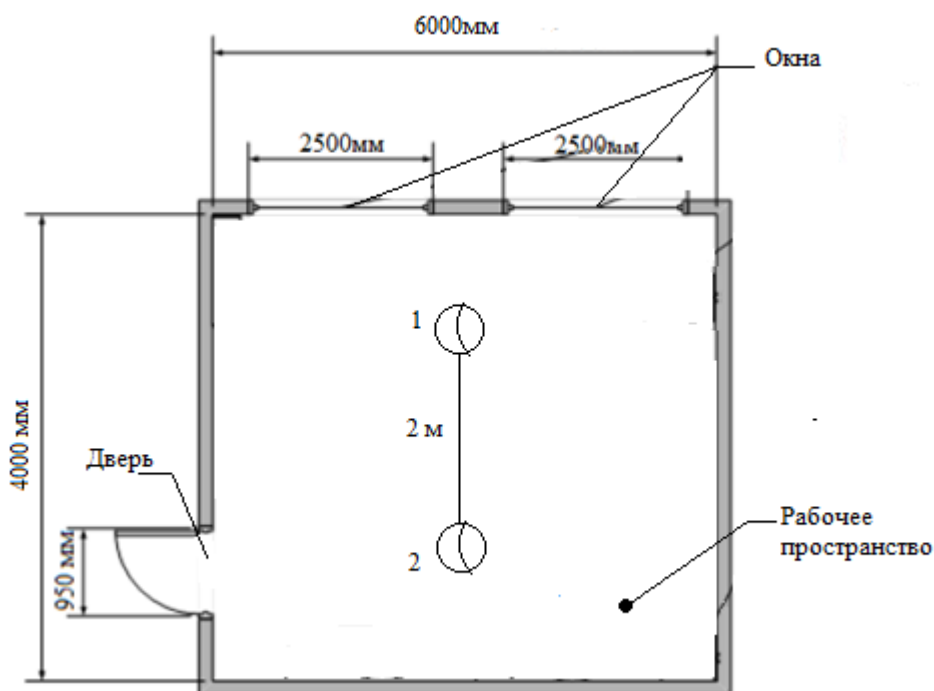


Рисунок 6.2 - Расположение ламп в офисе

Нормированная освещенность в контрольной точке А равна 200 лк. Определим, соответствует ли освещенность в контрольной точке требуемой норме. Для определения освещенности на рабочем месте, будем использовать

точечный метод. Рассчитаем освещенность от каждого светильника к контрольной точке по формуле

$$E_A = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot h_p} \quad (6.1)$$

Определяем $\tan \alpha$ (рисунок 6.3), то есть проводим проекцию от каждого светильника и соединяем конец проекции с расчетной точкой (рабочим местом). Тогда для первой лампы $\alpha = 46,85^\circ$, $\cos^3 \alpha = 0,32$, для второй лампы $\alpha = 38,65^\circ$, $\cos^3 \alpha = 0,47$.

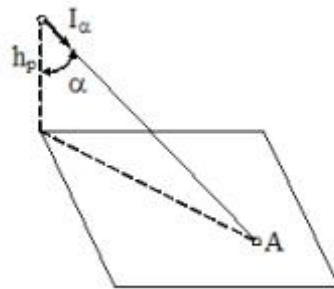


Рисунок 6.3- Схема для определения $\tan \alpha$

Определяем I_α . По кривой силы света светильников РСП13 (ДРЛ) при условной лампе со световым потоком $\Phi_{\text{л}} = 1000$ лм, находим силу света I_α при $\alpha = 37^\circ$ (интерполируя между значениями силы света для угла $\alpha = 35^\circ$ и 45°), $I_{\alpha 1000} = 214$ кд.

Световой поток установленной в светильнике лампы ДРЛ мощностью 125 Вт равен 6000 лм. Поэтому

$$I_\alpha = 214 \times (6000 / 1000) = 214 \times 6 = 1284 \text{ (кд)}.$$

Рассчитываем освещенность от одного светильника в горизонтальной плоскости в контрольной точке А. Принимая коэффициент запаса $k = 1,5$ для одного светильника и $\mu = 1,05$ получим

$$E_A = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot h_p} = \frac{1284 \cdot 0,32 \cdot 1,05}{1,5 \cdot 9} = 31,96 \text{ (лк)} \text{ для первого светильника,}$$

$$E_A = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot h_p} = \frac{1284 \cdot 0,47 \cdot 1,05}{1,5 \cdot 9} = 46,9 \text{ (лк)} \text{ для второго светильника.}$$

Суммарная горизонтальная освещенность в точке А будет

$$\sum E_A = 31,96 + 46,9 = 78,9 \text{ (лк)}.$$

Из данных расчетов видно, что освещенность помещения не удовлетворяет требуемой освещенности. Из этого следует, что необходимо произвести реконструкцию освещения.

6.4.3 Мероприятия по реконструкции освещения. Для расчета реконструкции освещения будем использовать метод коэффициента использования. Рассчитаем общее освещение для операторного помещения длиной $A = 6$ м, шириной $B = 4$ м, высотой $H = 3$ м с белым подвесным потолком, побеленными стенами, окнами с открытыми жалюзи. Нормируемую освещенность выбираем для зрительной работы средней точности, она равна $E = 200$ лк. Принимаем систему общего освещения люминесцентными лампами ЛД мощностью 40 Вт, со световым потоком $\Phi_l = 2340$ лм, диаметром 40 мм, длиной 1,2 метра. Светильники типа ЛВО01 (по две лампы в светильнике), встраиваемые в подвесные потолки. Коэффициенты отражения потолка, стен, пола - $\rho_{\text{пот}} = 70 \%$, $\rho_{\text{ст}} = 50 \%$, $\rho_{\text{пол}} = 30 \%$.

Расчётная высота подвеса – рабочая поверхность находится на высоте $h_{\text{рт}} = 0,8$ метра от пола, высота свеса ламп - $h_{\text{сл}} = 0$ метров, следовательно

$$h = H - (h_{\text{рт}} - h_{\text{сл}}), \quad (6.2)$$

$$h = 3 - (0,8 - 0) = 2,2 \text{ (м)}.$$

Наивыгоднейшее расстояние между светильниками определяется как ($\lambda = 1,2 \div 1,4$)

$$L_a = \lambda \cdot h, \quad (6.3)$$

$$L_a = 1,2 \cdot 2,2 = 2,6.$$

Найдем расстояние от стены до ближайшего светильника

$$l_a = 0,4 \cdot L_a, \quad (6.4)$$

$$l_a = 0,4 \cdot 2,6 = 1,04.$$

При ширине зала $B = 4$ м имеем число рядов светильников

$$n = \frac{B}{L}, \quad (6.5)$$

$$n = \frac{4}{2,6} = 1,53 \approx 2.$$

Определяем индекс помещения

$$I = \frac{A \cdot B}{h(A+B)}, \quad (6.6)$$

$$I = \frac{6 \cdot 4}{2,2(6+4)} = 1,09.$$

Тогда коэффициент использования

$$\eta_1 = 80\%.$$

Коэффициент запаса для учебных помещений, лабораторий, конструкторских бюро

$$K_3 = 1,5.$$

Необходимое количество светильников

$$N = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta_1}, \quad (6.7)$$

где E - заданная минимальная освещенность;

K_3 - коэффициент запаса;

S - освещаемая площадь;

Z - коэффициент неравномерности освещения ($Z = 1,1 \div 1,2$);

n - количество ламп в светильнике;

$\Phi_{\text{л}}$ - световой поток лампы.

Подставим значения в формулу 6.7

$$N = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 24 \cdot 1,2}{2 \cdot 2340 \cdot 0,80} = 2(\text{шт}).$$

При длине одного светильника типа ЛВО01 с лампами ЛД-40 $L_{\text{св}}=1,2$ м, их общая длина составит

$$N \cdot L_{\text{св}} = 1,2 \cdot 2 = 2,4 (\text{м}).$$

Таким образом размещаем два светильника с расстоянием между ними 2 метра. Всего для создания нормируемой освещённости 200 лк необходимо 4 лампы ЛД мощностью 40 Вт. Схема размещения светильников изображена на рисунке 6.4.

6.5 Расчет системы кондиционирования офиса

Рассчитаем систему кондиционирования в помещении. Правильное кондиционирование обеспечивает благоприятные условия труда и нормализацию микроклимата. Кондиционирование данного офиса

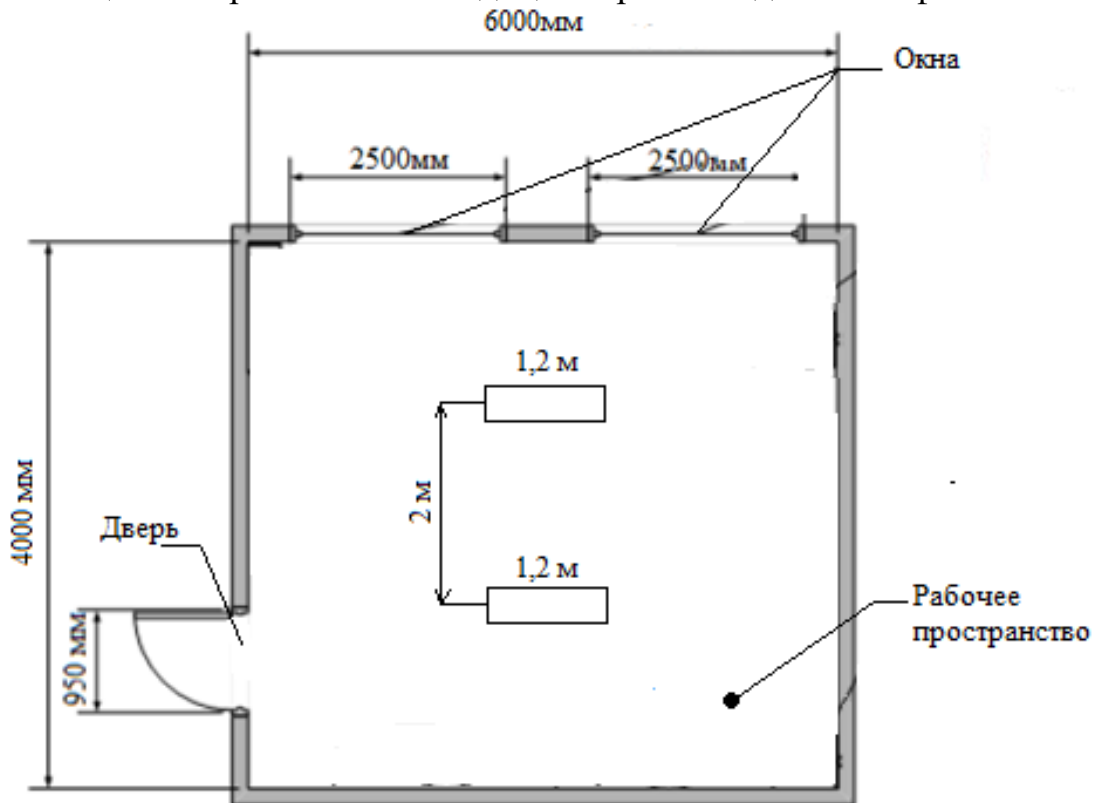


Рисунок 6.4 - Расположение светильников

должно выполняться в соответствии с главой СНиП 1133-75 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Рассчитаем количество воздуха, которое должно быть выведено из помещения за один час ($L \text{ м}^3/\text{ч}$). Вместе с этим воздухом должен быть удален избыток тепла $Q_{\text{изб}}$.

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{C_{\text{в}} \cdot t_{\text{у в}}}, \quad (6.8)$$

где $C_{\text{в}}$ = теплоемкость сухого воздуха, ккал/кг ($C_{\text{в}} = 0,24 \text{ ккал/кг}$);

$t = t_{\text{ух}} - t_{\text{вх}}$, при расчетах примем $t = 8^\circ\text{C}$;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность уходящего воздуха, которая определяется в зависимости от температуры, кг/м^3 . При расчетах примем $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Определим избыток тепла $Q_{\text{изб}}$ ккал/ч по формуле

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{п}} - Q_{\text{от}}, \quad (6.9)$$

где $Q_{\text{п}}$ – количество тепла, которое поступает в помещение, ккал/ч;

$Q_{от}$ – теплоотдача в окружающую среду через наружные ограждения (в теплое время года можно принять равной нулю).

$Q_{п}$ зависит от нескольких параметров: количества людей, работающих в офисе, мощности производственного оборудования и тепла, которое входит в комнату через окна.

$$Q_{п} = Q_{об} - Q_{л} - Q_{р} - Q_{осв} , \quad (6.10)$$

где $Q_{об}$ - тепло, которое выделяется оборудованием, ккал/ч;

$Q_{л}$ – тепло, которое выделяется людьми, ккал/ч;

$Q_{р}$ – тепло, вносимое солнечной радиацией, ккал/ч;

$Q_{осв}$ – тепло, которое выделяется системой освещения.

Тепло, которое выделяется производственным оборудованием в офисе, можно определить по формуле

$$Q_{об} = 860 \cdot P_{об} \cdot n \cdot N , \quad (6.11)$$

где 860 – это тепло, эквивалентное 1 кВт*ч электрической энергии;

$P_{об}$ – мощность, которая потребляется оборудованием, равная 350 Вт;

n – коэффициент перехода тепла в офис, $n = 0,75$;

N – количество производственного оборудования.

Тогда из формулы, приведенной выше получим

$$Q_{об} = 860 \cdot 0,35 \cdot 0,75 \cdot 4 = 903 \text{ (ккал/ч)}.$$

Тепло, вносимое солнечной радиацией, определим по формуле

$$Q_{р} = m \cdot F \cdot g_{ост} , \quad (6.12)$$

где m – число окон в помещении;

F – площадь одного окна $F = 4,5 \text{ м}^2$;

$g_{ост}$ – солнечная радиация через стеклянную поверхность, то есть количество тепла, вносимое за 1 час через стеклянную поверхность площадью 1 м^2 , $g_{ост} = 145$

Вычислим по этим параметрам тепло, вносимое солнечной радиацией.

$$Q_{р} = 2 \cdot 4,5 \cdot 145 = 1305 \text{ (ккал/ч)}.$$

Тепло, которое выделяется людьми в помещении, можно вычислить по следующей формуле

$$Q_{л} = N \cdot q_{л} , \quad (6.13)$$

где N – число людей в помещении;

$q_{\text{л}}$ – количество тепла, выделяемое одним человеком, $q_{\text{л}} = 60$.

Тогда

$$Q_{\text{л}} = 1 \cdot 60 = 60 \text{ (ккал/ч)}.$$

Тепло, выделяемое системой освещения, вычислим по формуле

$$Q_{\text{осв}} = 860 \cdot P_{\text{осв}} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \cos(\varphi), \quad (6.14)$$

где $P_{\text{осв}}$ – мощность осветительной установки, равная 0,04 кВт;

α – коэффициент перевода электрической энергии в тепловую энергию, для выбранных нами люминесцентных ламп $\alpha = 0,47$;

β – коэффициент одновременности работы светильников, так как мы использовали два светильника одновременно, то примем $\beta = 1$;

$\cos(\varphi)$ – коэффициент мощности равный 0,7.

Вычислим количество тепла, выделяемое освещением.

$$Q_{\text{осв}} = 860 \cdot 0,04 \cdot 0,47 \cdot 1 \cdot 0,7 = 11,32 \text{ (ккал/ч)}.$$

Рассчитаем общее тепловыделение

$$Q_{\text{п}} = 903 + 1305 + 60 + 11,32 = 2279,32 \text{ (ккал/ч)}.$$

Теперь определим необходимый воздухообмен

$$L = 2279,32 / (0,24 \cdot 8 \cdot 1,2) = 989,3 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Вычислим кратность воздухообмена по формуле

$$K = \frac{L}{V_{\text{n}}}, \quad (6.15)$$

где V_{n} – объем помещения, в нашем случае $V_{\text{n}} = 72 \text{ (м}^3\text{)}$.

$$K = 989,3 / 72 = 13,7.$$

Найдем требуемую производительность кондиционера по формуле:

$$W_{\text{к}} = k_3 \cdot L, \quad (6.16)$$

где k_3 – коэффициент запаса, примем его равным 1,8

$$W_{\text{к}} = 1,8 \cdot 989,3 = 1780,74 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Исходя из вычислений, представленных выше, для соблюдения требуемых параметров микроклимата следует установить кондиционер с производительностью не менее 1780,74 м³/ч. Выберем кондиционер Mitsubishi LMK48HRS1 [15]. Размещение кондиционера в офисе представлено на рисунке 6.5.

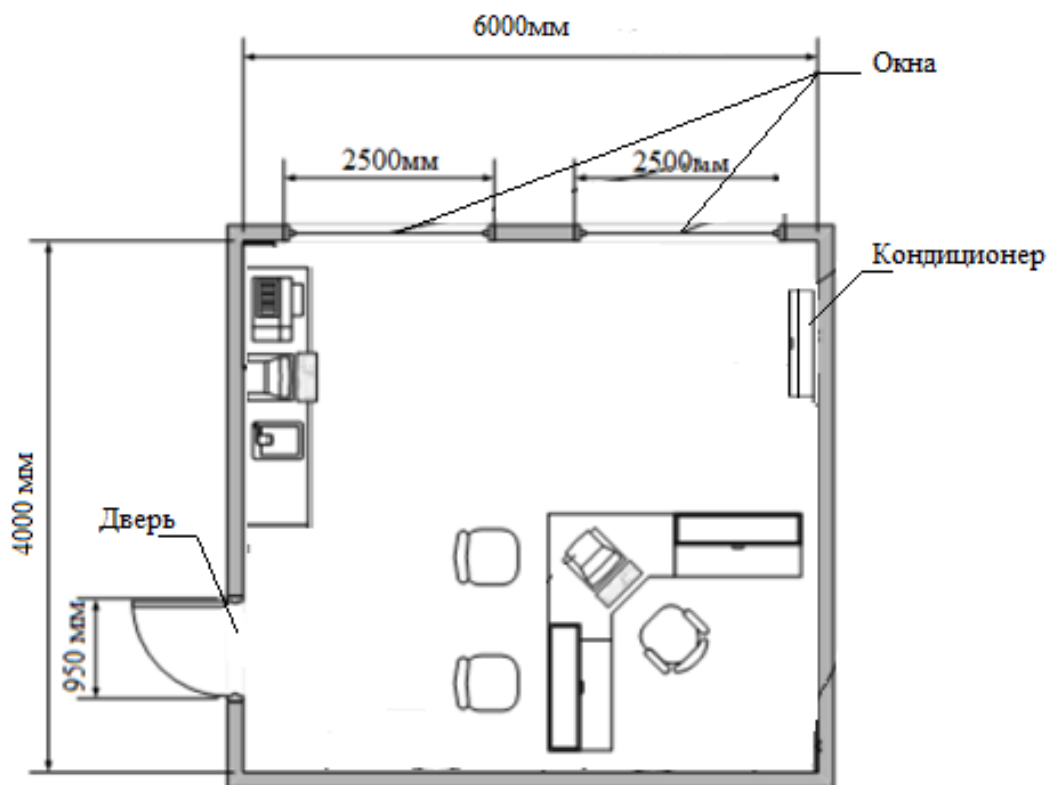


Рисунок 6.5 – Размещение кондиционера в офисе

6.6 Вывод к разделу безопасность жизнедеятельности

В данном разделе, посвященном безопасности жизнедеятельности, был произведен подробный анализ условий труда в офисе. Были выявлены основные опасные и вредные факторы, которым подвергаются офисные работники в процессе трудовой деятельности, приведен план размещения оборудования и рабочего места в офисе.

Для безопасной и продуктивной работы в офисе при расчете устранения недостаточного освещения рабочего места было решено использовать два светильника с двумя лампами в каждом длиной 1,2 метра на расстоянии 2 метра друг от друга. Всего для создания нормируемой освещённости 200 лк необходимо 4 лампы ЛД мощностью 40 Вт.

При расчете параметров микроклимата было выявлено недостаточное кондиционирование помещения. Для этого был выбран кондиционер кондиционер Electrolux EACS-07HAT/N3.

При изучении параметров безопасности жизнедеятельности на рабочем месте, помимо вышеперечисленных, недостатков выявлено не было.

7 Бизнес – планирование

7.1 Резюме

Цель данного бизнес-плана заключается в разработке программы Optisystem программистом. В технико-экономическом обосновании были рассчитаны экономические показатели этой технологии, был проведен анализ, и на этой основе, данная система может считаться эффективной для внедрения и использования.

Капитальные вложения составляют примерно 647,377 тыс.тенге.

7.2 Анализ услуги

Основной целью данного ТЭО является определение эффективного использования данной технологии для реализации использования описываемой программы.

OptiSystem-это инновационный, быстро развивающийся и мощный инструмент разработки программного обеспечения, который позволяет пользователям планировать, тестировать и моделировать практически все типы оптических линий связи в передающем слое широкого спектра оптических сетей от LAN, SAN, MAN до сверхдальних магистральных. Он предлагает проектирование и планирование оптической системы связи уровня передачи от компонента к системному уровню, а также визуально представляет анализ и сценарии.

7.3 Маркетинговый план

В научной сфере неотъемлемым параметром является наличие инструментов для изучения вопросов. Таким инструментом является программа Optisystem, предназначенная для изучения и моделирования линий связи.

Появляются и успешно развиваются новые отрасли информационный индустрии, существенно возрастает информационная составляющая экономической активности субъектов рынка и влияние информационных технологий на научно-технический, интеллектуальный потенциал и здоровье нации, актуализируя особую роль информационных ресурсов в жизнедеятельности общества.

Следует отметить, что сохраняющаяся положительная динамика развития отрасли будет способствовать не только развитию общества и укреплению безопасности страны, но и станет важнейшим источником стабильного экономического роста.

По оценке специалистов, в дальнейшем интеллектуальные услуги связи будут пользоваться растущим спросом. Основными потребителями интеллектуальных услуг, будут владельцы малого и среднего бизнеса,

руководители крупных предприятий, а также студенты, которым необходима такая программа, как Optisystem.

7.4 Производственный план

В данной части дипломной работы я рассчитаю затраты на приобретение, доставку и установку оборудования, предназначенного для работы программиста в офисе. Оборудование было выбрано на основе анализа цен на рынке, а также качества устройства, удобство в использовании, наличие доставки и установки от производителя.

С точки зрения рентабельности той или иной технологии, мной были рассмотрены несколько производителей оборудования. На время работы программиста оборудование менять или модернизировать не понадобилось [19].

Наименование необходимого оборудования и его стоимость приведены в таблице 7.1

Таблица 7.1 – Наименование и стоимость необходимого оборудования [15], [16]

Наименование оборудования	Количество	Цена за единицу, тыс. тенге	Общая цена, тыс. тенге
LenovoS145-15AST 81N30050RK черный	1	106,88	106,88
HP Laser 135W	1	62,09	62,09
TP-LINK Archer VR300 черный	1	23,559	23,559
Electrolux EACS-07HAT/N3 белый	1	84,990	84,990
Lenovo AIO 330-20AST F0D8004YRK черный	1	135,900	135,900
Итого	-	-	413,419

7.5 Финансовый план

Финансовый план является частью бизнес-плана, который включает в себя расчет общих капитальных затрат, доходов, эксплуатационных расходов, прибыли, рентабельности и срока окупаемости.

Целью данной разработки является получение максимальной прибыли, при минимальных издержках и высоком качестве предоставляемых услуг, с учетом того, что бы цена была приемлемой для пользователей. Далее представлены расчеты, показывающие стоимость внедрения, экономическую эффективность использования и срок окупаемости.

7.5.1 Капитальные затраты. По формуле (7.1) определим капитальные затраты

$$K = K_0 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + PC, \quad (7.1)$$

где K_0 – капитальные вложения на приобретение оборудования (линейных, стационарных и др.);

$K_{\text{тр}}$ – капитальные вложения на транспортные услуги (5 - 10 % от стоимости оборудования [13]);

$K_{\text{м}}$ – стоимость монтажа прибора на месте;

PC – стоимость рабочих станций.

Стоимость оборудования и всех комплектующих приведены в таблице 7.3 составляет

$$K_0 = 413,419 \text{ (тыс. тенге).}$$

Стоимость перевозки к месту эксплуатации $K_{\text{тр}}$ составляет 5 % от цены системы [13]

$$K_{\text{тр}} = K_0 \cdot 0,05 = 413,419 \cdot 0,05 = 20,67 \text{ (тыс. тенге).}$$

Стоимость монтажа платформы на месте с учетом расценок составит [20]

$$K_{\text{м}} = 8,37 \text{ (тыс. тенге).}$$

Стоимость рабочих станций (PC) – это стоимость рабочего места программиста (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Расчет затрат на организацию рабочего места [17], [18]

Наименование	Цена, тыс. тенге	Количество	Стоимость, тыс. тенге
Компьютерный стол	47,900	2	95,800
Стул	26,114	2	52,228
Стул офисный	56,890	1	56,890
Итого	-	-	204,918

Таблица 7.3 – Капитальные затраты

Наименование затрат	Стоимость, тыс. тенге
Стоимость оборудования, (K_0)	413,419
Стоимость перевозки к месту эксплуатации, ($K_{\text{тр}}$)	20,67
Стоимость монтажа платформы на месте, ($K_{\text{м}}$)	8,370
Стоимость рабочих станций, (PC)	204,918
Итого	647,377

$$\Sigma K = K_0 + K_{\text{тр}} + K_m + PC = 413,419 + 20,67 + 8,370 + 204,918 = 647,377 \text{ (тыс. тенге)}.$$

7.5.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов. Эксплуатационные расходы определим по формуле (7.2)

$$\Sigma \Xi = \text{ФОТ} + C_c + M + \Xi + A + H, \quad (7.2)$$

где ФОТ – фонд оплаты (основная и дополнительная заработная плата);

C_c – социальный налог (13 % от ФОТ);

M – материальные затраты и запасные части. (Расходы на запасные части и текущий ремонт составляют 0,5 % от капитальных вложений);

Ξ – электроэнергия для производственных нужд;

A – амортизационные отчисления;

H – накладные расходы.

Таблица 7.4 – Заработная плата обслуживающего персонала

Наименование	Заработная плата, тенге	Число рабочих
Программист	175000	1

Основная заработная плата за год составит

$$З_{\text{осн}} = 12 \cdot (175000) = 2100 \text{ (тыс. тенге)}.$$

В годовой фонд заработной платы включается дополнительная заработная плата в размере 20 % от основной заработной платы.

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot 0,2 = 2100 \cdot 0,2 = 420 \text{ (тыс. тенге)}.$$

Заработная плата складывается из основной и дополнительной заработной платы

$$\text{ФОТ} = З_{\text{доп}} + З_{\text{осн}}, \quad (7.3)$$

$$\text{ФОТ} = 2100 + 420 = 2520 \text{ (тыс. тенге)}.$$

Социальный налог накладывается на заработную плату работников с вычетом пенсионных отчислений. Социальный налог в Казахстане составляет 13 %, а пенсионные отчисления 10 %. Для расчета социального налога воспользуемся формулой (7.6)

$$C_c = 0,13(\text{ФОТ} - 0,1 \cdot \text{ФОТ}), \quad (7.4)$$

Рассчитаем социальный налог

$$C_c = 0,13(2520 - 252) = 294,84 \text{ (тыс. тенге).}$$

Материальные затраты составляют 0.5 % от капитальных вложений. Их можно найти по формуле

$$M = 0,005 \cdot 647,377 = 3,236 \text{ (тыс. тенге).}$$

Расходы на электроэнергию находятся по формуле (7.5)

$$\mathcal{E} = W \cdot T \cdot S, \quad (7.5)$$

где W - потребляемая мощность, в нашем случае $W=2$ кВт;

T - количество часов работы;

S - стоимость одного киловатт-час электроэнергии.

Для юридических лиц тариф составит 22,58тг. Теперь рассчитаем затраты на электричество

$$\mathcal{E} = 22,58 \cdot 2 \cdot 620 = 28 \text{ (тыс. тенге).}$$

Амортизационные отчисления для отрасли связи составляют 25 % от среднегодовой стоимости основных фондов. Их можно найти по формуле (7.9)

$$A = 0,25 \cdot 647,377 = 161,844 \text{ (тыс. тенге).}$$

Накладные расходы составят 20 % от основных эксплуатационных расходов (7.6)

$$H = 0,2 \cdot \mathcal{E}_p, \quad (7.6)$$

где \mathcal{E}_p - основные расходы.

$$\mathcal{E}_p = \Phi OT + A + \mathcal{E} + C_c + M, \quad (7.7)$$

$$\mathcal{E}_p = 2520 + 294,84 + 161,844 + 28 + 3,236 = 3007,92 \text{ (тыс. тенге),}$$

$$H = 0,2 \cdot 3007,92 = 601,584 \text{ (тыс. тенге).}$$

Теперь найдем сами эксплуатационные расходы по формуле

$$\sum \mathcal{E} = 3007,92 + 601,584 = 3609,504 \text{ (тыс. тенге)}.$$

Эксплуатационные расходы составили 3609,504 тысяч тенге.

7.6 Расчет доходов от реализации услуг

Конечными потребителями интеллектуальных услуг являются три группы пользователей – это физические лица, индивидуальные предприниматели и юридические лица.

Общая сумма абонентской платы для получения лицензии на использование программы определена как произведение количества абонентов и размера абонентской платы в месяц. Эта сумма представлена в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Распределение емкости по категориям потребителей

Наименование	Кол-во абонентов	Абонентская плата в месяц, тенге
Пользователи	300	1565
Всего	300	469500

Определим тарифные доходы, получаемые от абонентской платы пользователями программы

$$Д = 12 \cdot 300 \cdot 1565 = 5634 \text{ (тыс. тенге)}.$$

7.7 Расчет показателей экономической эффективности

Теперь найдем коэффициент общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений по формуле (5.12)

$$E_A = \frac{ЧП}{K}, \quad (7.8)$$

где ЧП - чистая прибыль;

К - капитальные вложения.

Чистая прибыль – это прибыль с вычетом подоходного налога в размере 20 %. Сама прибыль — это разность между доходами и расходами. Находятся они по формулам (7.9, 7.10) соответственно

$$ЧП = П - 0.2 \cdot П, \quad (7.9)$$

$$П = Д - \mathcal{E}. \quad (7.10)$$

Теперь высчитаем все необходимые значения

$$\Pi = 5634 - 3609,504 = 2024,496 \text{ (тыс.тг)},$$

$$\text{ЧП} = 2024,496 - 0.2 \cdot 2024,496 = 1619,6 \text{ (тыс.тг)}.$$

$$E_A = \frac{1619,6}{647,377} = 2,5.$$

Срок окупаемости капитальных вложений – это срок возвратности средств, является показателем, обратным коэффициенту общей экономической эффективности. Находится по формуле (7.11)

$$T = \frac{1}{E_A}, \quad (7.11)$$

$$T = \frac{1}{2,5} = 0,4 \text{ (года)}.$$

Проект окупится за 0,4 года или же за 5 месяцев.

Заключение

В данной дипломной работе было рассмотрено моделирование оптических каналов передачи данных различного назначения с помощью программы Optisystem. Прежде всего, был проведен сравнительный анализ систем моделирования и выбрана программа Optisystem. Так же была рассмотрена сама программа, ее возможности и библиотеки.

В работе были построены модели магистральной линии протяженностью 50 км, а также линий доступа протяженностью 3, 5 и 10 км. Анализируя глаз-диаграмму и параметры BER и Q-factor, было описано изменение качества сигнала в зависимости от изменения мощности лазера и протяженности линии.

Был произведен теоретический расчет длины регенерационного участка для короткой магистральной линии (S 64-2) и очень длинной магистральной линии (V 64-3). При построении модели магистральной линии связи были указаны значения, рассчитанные для короткой магистральной линии связи с интерфейсом S 64.2.

В разделе безопасности жизнедеятельности был произведен расчет нормированных условий труда программиста в офисе. Были произведены меры по изменению искусственного освещения, а также приведен расчет искусственной вентиляции с выбором кондиционера.

В бизнес-плане был произведен расчет капитальных затрат, годовых эксплуатационных расходов, а также расчет доходов от реализации услуг. По рассчитанным данным было произведено вычисление срока окупаемости проекта. Срок окупаемости составил 5 месяцев. Проект был назван эффективным.

В целом: исследование в данном проекте может послужить хорошей основой для проектирования оптических систем связи различного назначения с минимальными экономическими потерями и хорошими техническими показателями, удовлетворяющими стандартам МСЭ-Т.

Список литературы

9. Fiber-Optic Communications Systems, third edition. Govind P. Agrawal NY.: John Willey, 2014. – 561p
10. Downing J. Fiber-Optic Communications.-Thomson: “Delmar Learning”. 2005
11. Supplement 39 to ITU-T G-series. Recommendations. Optical system design and engineering considerations
12. Lu, Zheng Unlocking the Power of OPNET Modeler.- New York: Cambridge university press, 2012.- 238p
13. Портнов Э.Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи.- М.,2009
14. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи.-М.: «Техносфера», 2007
15. Иванов В.И. Волоконно-оптические системы передачи, 2011
16. Данько Е.Т, Елизарова Е.Ю., Учебное пособие «Активные и пассивные компоненты волоконно-оптических систем передач», АУЭС, 2016
17. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи.-СПб.: «Лань», 2010
18. ITU-T Recommendations. G 983.1 – 983.3 Broadband optical access systems based on Passive optical networks
19. ITU-T Recommendations G 692. Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.
20. ITU-T Recommendations G 984.1 – 984.2. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid and CWDM wavelength grid.
21. ITU-T Recommendations G 957. Optical interfaces for equipment and systems relating to the synchronous digital hierarchy.
22. ITU-T Recommendations G 691. Optical interfaces for single Channel STM-64, STM-256 systems and other SDH systems with optical amplifiers.
23. <https://www.technodom.kz/search/> (дата обращения: 23 апреля 2020г.).
24. <https://kaspi.kz/shop/search/> (дата обращения: 24 апреля 2020г.).
25. http://izmer-ls.ru/g65_.html (дата обращения: 10 апреля 2020г.).
26. http://lib.sevsu.ru:8080/jspui/bitstream/123456789/8138/1/p_170042.pdf (дата обращения: 10 марта 2020г.).
27. <https://www.fiberlabs.com/glossary/about-wdm/> (дата обращения: 20 февраля 2020г.).