МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой ТКС
Шамахметов Д.Р. к.т.н.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «_____»_____ **20__ г.**
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Использование солитонов для увеличения пропускной способности передачи данных

Специальность 5В0719 Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Изенбаев К.Н МТС-10-05
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель ст. пр. Елизарова Е.Ю
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «28» мая 2014 г.
(подпись)

Консультанты:

по экономической части:
Боканова Г.Ш. - доцент каф. ЭО и УП
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «29» мая 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Ермекбаев М.К., д.т.н., проф.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «28» мая 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
ст. преподаватель Артюхин А.В.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «29» мая 2014 г.
(подпись)

Нормоконтролер: ст. препод ТКС Кенжратович А.П
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «4» 06 2014 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____ 20__ г.
(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи
Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент Изенбаев Кенель Нуржанович
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта: „Использование солитонов для увеличения пропускной способности передачи данных"

утверждена приказом ректора № ___ от «___» сентября 20___ г.
Срок сдачи законченной работы «___» _____ 20___ г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта
Населенные пункты г. Алматы и г. Талдыкурган. Взят участок Алматы - Талдыкурган для расчета длины регенерационного участка. Применяемое оборудование: OPtiX BWS 1600G компании Huawei Technologies, анализатор спектра CMA 4692, рефлектометр EXFO FTB-100/102, цифровой тестер Sunset E21, кабель оптический-одномодовый

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:
Цель дипломной работы: исследование путей повышения пропускной способности передачи данных с применением технологии солитонов, а также проектирование участка и вычисление длины регенерационного участка. Поставленные задачи: 1) определить особенности распространения электромагнитных волн в нелинейной среде с дисперсией и распространение солитонных импульсов по опт. волокну; 2) произвести расчет рег. участка для систем с применением солитонов, произвести сравнение с системой DWDM; 3) разобрать математическую модель солитонной линии Кортевега-де-Фриза; 4) сделать вывод о проделанной работе и показать все преимущества и недостатки солит. систем связи.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Рисунки – устойчивые уединенные волны (графики), схемы регенерационных участков для солитонов и для DWDM, компьютерное моделирование взаимодействия солитонов, расчеты MathCAD и Excel, применяемое оборудование, капитальные затраты, графики зависимости, графики потерь мощности, динамика формы импульсов

Рекомендуемая основная литература

1) А.Т. Филиппов „Многоликий солитон" Москва 1990г.
2) Дж. Л. Лем „Введение в теорию солитонов" Мир 1983г.
3) А.И. Маймистов „Оптические солитоны" Москва 1992.
4) Н.Н. Розанов „Мир оптических солитонов", 2007г.
5) J.H. Lee et al, „Soliton self-frequency shift; experimental demonstrations and applications" 2008
6) P. Grelu and N. Akhmediev „Dissipative solitons for mode-locked lasers" 2012
7) „Optical Solitons, Auto Solitons, and similaritions" Govind P. NY 2008
8) „Collisions between optical spatial solitons" Govind., M. Segev 2010

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Эконом	Плюсевская Н.К.	17.03 – 28.05.14	
спец-часть	Емшарова Е.Ю	28 мая 14	
ВТ	Артохин А.В.	12.05 – 29.05.14	

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Постановка задач	11.03.14	
2	Определение самотона, его примен.	19.03.14	
3	Основные физ. процессы в самот.	25.03.14	
4	Нелинейные эффекты в ОВ	01.04.14	
5	Расчетная часть	05.04.14	
6	Выбор оборудования и кабеля	09.04.14	
7	Построение схемы рег. ур.	12.04.14	
8	Сравнение с системами ДИДН	13.04.14	
9			
10			
11			

Дата выдачи задания «____»_____20___ г.

Заведующий кафедрой _____ _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Емельянова Е.Ю
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Цеенбаев К.Н
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Дипломдық жобаның тақырыбы: «Цифрлы мәліметтердің өткізу қабілетін ұлғайту үшін солитондарды пайдалану». Жалпы Алматы - Талдықорған магистралдық трассасының планы құрылды. Регенерациондық аумақтың ұзындығын солитондық байланыс жүйлерімен қолданып есептелді. DWDM жүйе байланыспен салыстрырып жасалды. Салыстыру мысалында негізгі артықшылықтары дипломдық жобада белгіленді.

Сонымен қатар, дипломдық жобада өміртіршілік қауіпсіздігінің өлшемдері анықталды және бизнес жоспар құрылды.

Аннотация

Темой дипломного проекта является: «Использование солитонов для увеличения пропускной способности передачи данных». Был разработан общий план магистральной трассы Алматы - Талды-Курган. Рассчитана длина регенерационного участка с применением солитоновых систем связи. Произведено сравнение с системой связи DWDM (Спектральное уплотнение каналов). На примере сравнения выделены основные преимущества системы связи с применением солитонов.

Также в дипломном проекте определены меры безопасности жизнедеятельности, произведен расчет параметров освещения, разработан бизнес-план проекта и рассчитаны экономические показатели.

Abstract

The subject of the degree project is: "Use of solitons for increasing the capacity of data transmission". The general plan of the main route Alma-Ata - Taldy-Kurgan was developed. The Length of a regeneration site with application of soliton communication systems was calculated. The comparison was made between DWDM communication system (Spectral consolidation of channels). On the example of comparison the main advantages of the degree project were marked out.

Also in the degree project the activity of security measures was defined, the parameters of lighting were measured, the business plan of the project is developed and economic indicators were calculated.

Содержание

Введение 8
1 Теоретическая часть 9
1.1 Цель и задачи исследования 9
1.2 Солитон, его определение, история и применение 10
1.3 Физические основы распространения солитонных импульсов по оптическим волокнам 12
1.4 Виды солитонов, нелинейные эффекты в оптическом волокне 16
1.5 Физическая природа оптического солитона 23
1.6 Основные процессы, ограничивающие появление солитоновых линий связи 26
1.7 Выводы и общие исследования 35
2 Расчетная часть 37
2.1 Математическая модель Кортевега-де-Фриза (солитон) 37
2.2 Способы построения солитонных линий связи с управляемой дисперсией 39
2.3 Расчет регенерационного участка и сравнение солитонной системы с системами DWDM 41
3 Безопасность жизнедеятельности 49
3.1 Анализ условии труда в помещении ЛАЦ 49
3.1.1 Техническая характеристика оборудования 50
3.1.2Организация освещения. Освещение в помещении (естественное и искусственное) 52
3.1.3 Нормирование параметров микроклимата 53
3.1.4 Воздействие лазерного излучения на организм человека 53
3.1.5 Требования безопасности при эксплуатации и обслуживании лазерных изделий 54
3.2 Расчет освещения линейно-аппаратного цеха 55
3.2.1 Техническая характеристика оборудования 55
3.2.2 Организация освещения. Освещение в помещении комбинированное (естественное и искусственное) 58

3.2.3 Искусственное освещение 60
4 Экономическая часть 63
4.1 Характеристика проекта 63
4.2 Организационный план 64
4.3 Производственный план 64
4.4 Финансовый план 64
4.5 Маркетинговый план 65
4.6 Годовые эксплуатационные расходы 68
4.7 Доходы и экономическая эффективность 71
4.8 Расчет показателей эффективности инвестиций 72
4.8.1 Чистая текущая стоимость проекта (NPV) 72
4.8.2 Внутренняя норма рентабельно (IRR) 73
4.8.3 Дисконтированный период окупаемости (DPP) 74
4.9 Оценка результата 74
Заключение 76
Перечень сокращений 77
Список литературы 77
Приложение А 78

Введение

На данное время, слово "информация" имеет очень важное значение. Существует огромное количество путей передачи информации. Люди с давних времен обмениваются различной информацией, и еще с давних времен скорость передачи информации имела немаловаожное значение. Занимаясь путями увеличения скорости передачи данных, человечество развивается очень быстро. Сначала это были письма, далее телеграфы - сейчас же медные, оптоволоконные кабели передающие пакеты информации со стремительно-возрастающей скоростью. И любые хоть и небольшые инновации в области информации могут стать одними из важнейших технологических скачков, которым люди не перестанут уделять пристального внимания.

В дипломном проекте разобран анализ такой технологии как "солитоны в оптоволокне". Обозначение слова "солитон", многие, возможно, слышат впервые, но оно известно более сотни лет, внимание солитонам стали уделять еще с первой половины XX века. Благодаря своим уникальным способностям, солитоны изучались в различных науках в математике, физике, радио-физике, гидромеханике, акустике, биологии, астрофизике, оптической технике. Так что же является солитоном?

Во всех вышеперечисленных сферах есть одна схожая черта: в каждой области или в отдельном ее разделе изучаются процессы о волнах. Волна - это распространение возмущения какой-либо физической величины, характеризующей вещество или поле. Это распространение часто происходит в какой-то среде - воздухе, воде, твердых телах.

Солитоны тоже являются волнами. "Солитоном" называют весьма интересное образование - структурно-устойчивую, "уединенную" волну (solitary wave). В оптической системе связи, спустя длительные иследования, солитону уделяется очень важное значение, благодаря которому, передача информации, данных может передаваться на дальние расстояние без усилителей.

А передача информации или данных на дальние расстояния с минимальным использованием оптических усилителей, приносит очень много преимуществ как в технологическом плане, так и в экономическом. Данный дипломный проект посвящен вопросу проектирования сети с использованием технологии солитонов на участве Алматы - Талды-курган.

1. Теоритическая часть

1.1 Цель и задачи исследования.

Целью дипломной работы является исследование путей повышения пропускной способности передачи данных с применением технологии солитонов, а также проектирование участка и вычисление длины регенерационного уастка.

Для достижения поставленной цели в дипломной работе необходимо было решить следующие задачи:

- определить особенности распространения электромагнитных волн в нелинейной среде с дисперсией и распространение солитонных импульсов по оптическому волокну;
- произвести расчет регенерационного участка для систем с примением солитонов, произвести сравнение с системой DWDM;
- разобрать математическую модель солитонной линий Кортевега- де Фриза;

- сделать вывод о проделанной работе и показать все преимущества и недостатки солитонной системы связи.

Объект исследования - волоконно-оптические системы передачи данных с применением технологии солитонов.

Предмет исследования - параметры солитонных линейных трактов с переменной дисперсией, построенных на основе одномодовых волоконных световодов.

Результаты подтверждается корректностью постановок задач, обоснованностью использования программ для расчета математических действий, допущений и ограничений.

1.2 Солитон, его определение, история и применение.

Что такое «оптический солитон». Это волна или волновой импульс, определенной формы, возбуждаемый лазерным источником света в световоде при совместном действии дисперсии и эффекта нелинейности в области аномальной (отрицательной) дисперсии. Солитоны могут распространяться в оптоволокне на дальние расстояния (пару тысяч километров) практически без изменения формы и не искажаться при столкновении друг с другом (т. е.

восстанавливать скорость, направление движения и амплитуду, показывая свойства, схожие с частицами).

Солитон — структурно устойчивая "уединённая" волна, распространяющаяся в нелинейной среде (рисунок 1.1, рисунок 1.2.).

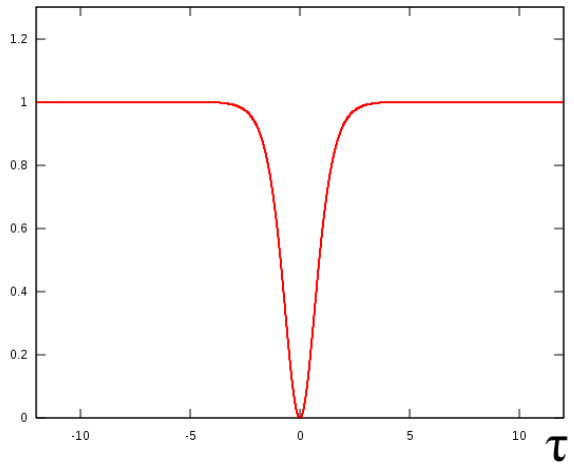


Рисунок 1.1 - Устойчивая уединенная волна

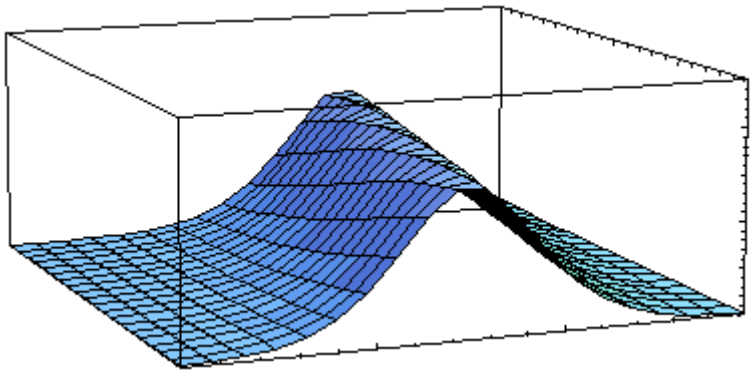


Рисунок 1.2 - 3Д- модель уединенной волны – солитона

Солитоны ведут себя как частицы (частицеподобная волна): при столкновении друг с другом или с какими-либо другими возмущениями они сохраняют свою структуру и двигаются дальше без изменений. Это уникальное

свойство может использоватъся для передачи данных на большие расстояния без искажений.

Солитоны бывают различной природы:

- гравитационные солитоны в густой жидкости;
- на поверхности жидкости (самые первые солитоны, обнаруженные в природе);
- солитоны в виде коротких световых импулъсов в активных средах лазера;
- солитоны в нелинейно-оптических материалах.

История изучения солитона

Солитон получил свое открытие в августе 1834 года, вблизи Эдиннбурга на берегу канала Юнион. Джон Скот Рассэл наблюдал на поверхности воды явление, которое он назвал уединённой волной — «solitary wave».

Джон Скот Рассэл, шотландский инженер-изобретателъ, физик, получил предложение исследоватъ возможность навигации судов по каналам, соединяющих Глазго и Эдинбург. В те времена перевозки по каналу осуществлялисъ с помощъю несколъких баржж, которые тащили лошади. Чтобы выяснитъ, как стоит переоборудовать баржи для того, чтобы заменить конную тягу на паровую. Джон следил за баржжами различной формы, движущимися с разными скоростями. И однажды он случайно столкнулся с совершенно уникальным явлением. Вот как Джон описал это в своем "Отчете о волнах":

"Я следил за движением баржжи, которую тянула по каналу пара лошадей, когда баржжа резко остановиласъ, масса воды, которую баржжа привела в движение, собраласъ около корабля в состоянии быстрого движения, затем неожиданно оставила его взади, катясъ вперед с огромной скоростъю и принимая фигуру болъшого одиночного холма - гладкого, округлого и четко сглаженного водяного возвышения. Он продолжал двигатъся вдолъ канала, нисколько, при этом, не меняя свою форму и не снижая скорости. Я последовал за ним, и когда нагнал его, он по-прежнему катился вперед со скоростъю примерно 7-9 миль/час, сохранив свой первоначальный профиль возвышения. Его высота постепенно уменьшалась, и после одной или двух миль погони, я потерял его в изгибах канала"[1].

Джон С. Р. назвал обнаруженное им явление "уединенной волной трансляции". Однако его исследование встретили с трудом признанные авторитеты в области физики, гидродинамики - Джордж Стэкс и Джордж Эйрил, полагавшие, что волны при движении на дальние расстояния не могут

сохранять свою первоначальную форму. Для этого у них были все основания: они исходили из общепринятых на то время уравнений физики. Признание "уединенной" волны (солитоном она была названа гораздо позже - в 1968 году) произошло еще при жизни Джона Расэла трудами нескольких математиков, которые показали, что существоватъ она может, и, кроме того, были повторены и подтверждены опыты Расэла.

Окончателъную ясностъ внесли голландский ученый Дидэрик Иоханнэс Корртэвег и его ученик Густаво де Фрриз. В 1895 году, через тринадцать лет после смерти Джона Расэла, они нашли подходящее уравнение, волновые решения которого полностъю описывали эти процессы. Волны Корртэвега - де Фрриза имеют несинуссоидальную фигуру и становятся синуссоидальными только тогда, когда их аммплитуда значителъно мала. При увеличении длины волны они приобретают вид далеко разнессенных друг от друга холмов, а при очень болъшой длине волны остается один горбик, который и соответствует "уединенной" волне [2].

Уравнение Корртэвега - де Фрриза (КдФ-уравнение) сыграло очень важную ролъ в наши дни, когда физики поняли его универсалъность и возможностъ прилложения к волнам различной природы. Интересно то, что оно описывает неллинейные волны, и теперъ следует более подробно остановитъся на этом понятии.

1.3 Физические основы распространения солитонных импульсов по оптическим волокнам.

В теории волн большое значение имеет волновое уравнение. Не приводя его здесь отметим лишь, что первоначальная функция, описывающая волну, и связанные с ней величины состаят в первой степени. Эти уравнения называются линейными. Волновое уравнение, как и любое другое, имеет решение, то есть математическое выражение, при подстановке которого обращается в тождество. Решением волнового уравнения является линейная гармоническая (синусоидальная) волна.

Как мы знаем линейные волны подчиняются принципу суперпозиции (сложение). Это означает, что при наложении нескольких линейных волн форма результирующей волны вычисляется простым сложением исходных

волн. Это происходит потому, что каждая волна распространяется в среде независимо от других, между ними нет ни какого-либо взаимодействия, ни обмена энергией, они без проблем проходят одна через другую. Другими словами, принцип суперпозиции означает независимость волн, и именно поэтому их можно складывать. При обычных условиях это справедливо для световых, звуковых и радиоволн, а также для волн, которые наблюдаются в квантовой теории.

Дисперсией называется зависимость скорости распространения фазы волны (фазовой скорости) от частоты или, что то же самое, длины волны. Несинусоидальную волну любой формы по известной теореме Фурье можно представить в виде совокупности простых синусоидальных составляющих с разными частотами (длинами волн), амплитудами и начальными фазами. Эти составляющие из-за дисперсии распространяются с разными фазовыми скоростями, что приводит к "размыванию" формы волны, при ее распространении. Но солитон, который также можно представить как сумму определенных составляющих, при движении сохраняет свою форму. Почему? А потому, что солитон - волна нелинейная.

Оказывается, что солитон появляется тогда, когда эффект нелинейности, делающий "горб" солитона более крутым и стремящийся его опрокинуть, уравновешивается дисперсией, делающей его более пологим и стремящейся его размыть. То есть солитон возникает "на стыке" дисперсии и нелинейности, компенсирующих друг друга. [2]

При специальной форме и скорости горбика может наступить полное восстановление исходной формы, и тогда возникает солитон.

Физические явления в оптических световодах.

Солитоны могут распространяться в оптоволокне на большие расстояния (несколько тысяч километров) практически без изменения формы и сохранять свою структуру при столкновении друг с другом. Для того чтобы дать представление об оптическом солитоне и пояснить присущие ему свойства, кратко рассмотрим несколько физических явлений, сопутствующих его возникновению и распространению. В обычных волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) важной особенностью, ограничивающая скорость передачи светового импульса, является его уширение за счет дисперсии групповых скоростей и других нелинейных факторов. Дисперсия групповых скоростей

(ДГС) — это зависимость фазовой скорости световых волн от частоты ν или длины волны λ.

Фазовая скорость обратно пропорциональна показателю преломления среды n, который, собственно, и зависит от частоты. ДГС может быть gложительной, если n увеличивается с увеличением ν или уменьшением λ, либо отрицательной, если n уменьшается с увеличением ν или уменьшением λ. Зависимость фазовой скорости от ν или λ для положительной и отрицательной дисперсий — обратная. Для одномодового (ОМ) волокна ДГС положительна для λ<1312 нм, отрицательна для λ>1312 нм, и является нулевой в пределах λ=1312 нм[3].

Если оптический импульс содержит несколько спектральных составляющих (а это практичеки постоянно), то при распространении в оптической дисперсной среде они, имея различные скорости, доходят в определенную точку в разное время, что приводит к изменению формы импульса и его "размыванию" (несимметричному уширению). Без искажения формы уширение импульса (симметричное уширение) происходит за счет его естественного затухания, вызванного рассеиванием мощности волны при прохождении по волокну.

Влияние дисперсии обычно уменьшается за счет выбора значения несущей длины волны вблизи точки нулевой дисперсии. Однако до бесконечности увеличивать длину участка регенерации никак не удается, поскольку использование больших длин волн и мощных лазерных источников сигнала или же оптических усилителей (ОУ) с мощными источниками накачки приводит к резкому возрастанию влияния нелинейных эффектов.

Одно из уникальных свойств "уединенных" волн (солитонов) состоит в том, что они во многом схожи с частицами. Так, при столкновении два солитона не проходят друг через друга, как простые линейные волны, а как бы отталкиваются друг от друга (рисунок 1.3, рисунок 1.4).

Компьютерное моделирование взаимодействия солитонов

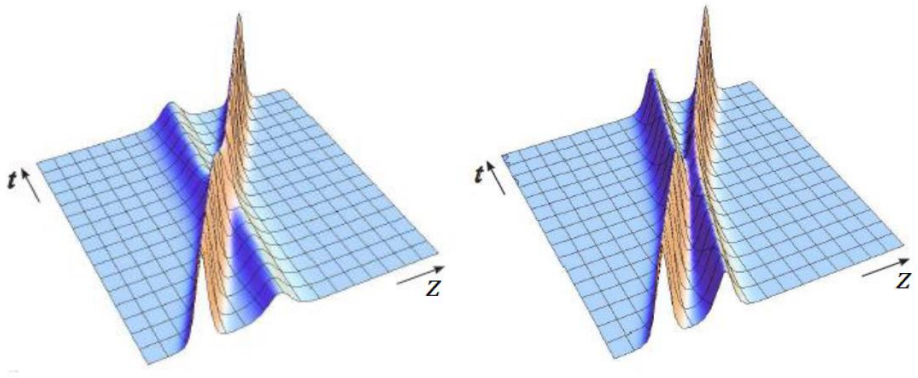


Рисунок 1.3 - Компьютерное моделирование взаимодействия солитонов.

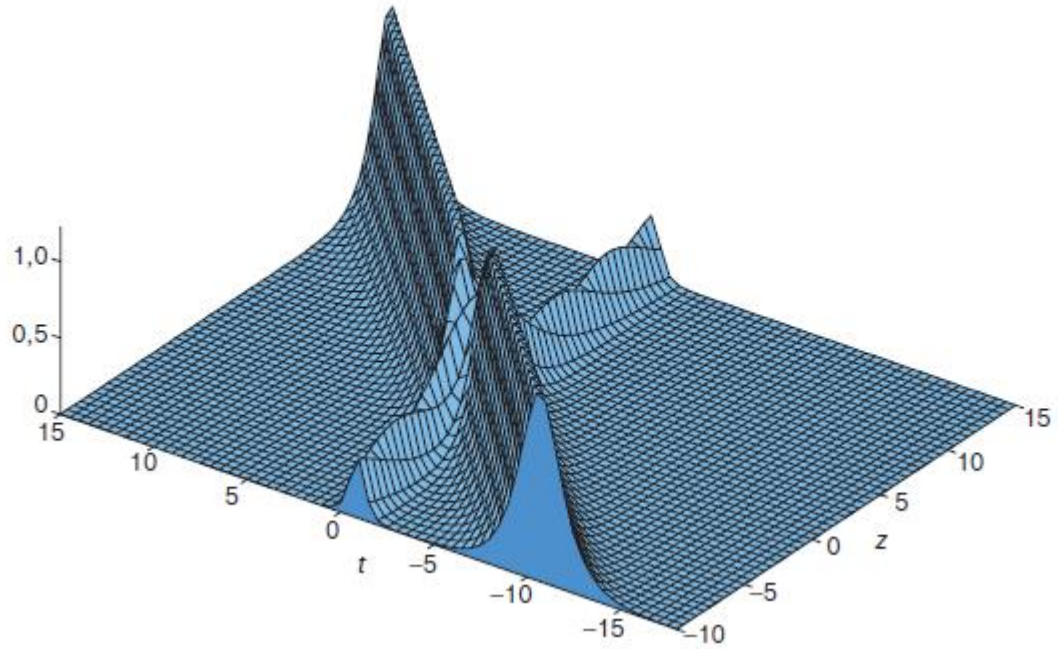


Рисунок 1.4 - Картина столкновения двух солитонов СИП, амплитуды которых различаются в несколько раз. Один из солитонов пронизывает другой.

Применение оптических солитонов:

1) солитонный лазер

2) переносчики информации в оптоволокне (солитон как один бит)

3) в устройствах цифровой обработки сигналов (интерферометр Маха – Цендера)

В одной из британских научных журналов совсем недавно появилось статья о ведущихся известной фирмой "Беелл" (Beell Laborattories, США, штат Нью-Джерси) разработках передачи сигналов на сверх-большие расстояния по волоконным световодам с использованием оптических солитонов. Для обычной передачы по оптико-волоконным кабелям связи импульс должен усиливаться через каждые 80-100 километров (при помощи усилителей или может служить сам световод при его прокачке света определенной длиной волны). Следующие каждые 400-500 км нужно устанавливать ретранслятор, который преобразует оптический сигнал в электрический, сохраняя все его параметры, а затем снова в оптический для дальнейшей передачи. Без этих специальных мер сигнал на расстоянии, более 500 километров, искажается до неузнаваемости. Цена всего этого оборудования очень высока: отправка 1 терабита (10^{12} бит) данных из Сан-франческо в Ню-йорк обходится почти в 190 мил долларов на каждую ретрансляционную станцию.

Используя оптичесские солитоны, которые сохраняют свою форму при распространении и взаимодействии с соседними солитонами, позволяет сделать полно оптическую передачу сигнала на расстояния до 4-5 тысяч километров. Но на пути создания "солитонной системы" есть некоторые проблемы, которые удалось решить только в самом конце.

Солитоны могут распространяться только в световоде с небольшим, но конечным обозначением диссперсии. Но оптичесского волокна, которое сохраняет требуемые показатели диссперсии во всей ширине спектра многоканального передатчика, просто нет.

Подходящая технология с использованием солитонов создавалась в течении нескольких лет под руководством профессора Линна Молленауэра, славного специалиста отдела оптичесских технологий кампании "Беелл". В фундамент этой технологии легла разработка оптичесских волокон с управляемой диссперсией, которая смогла создать солитоны, форма импульсов которых может поддерживаться очень долго [6].

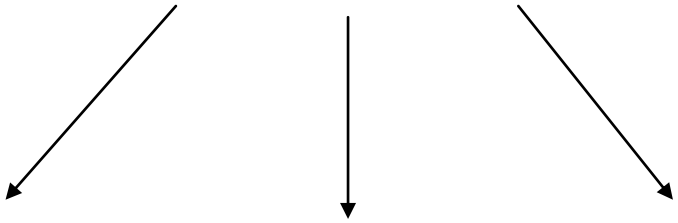
Метод управления выглядит следующим образом. Величина диссперсии по длине оптичесского волоконного световода периодический изменяется между положительным и отрицательным значенияни. В первом секторе световода импульс распирается и сдвигается в одном направлении. Во втором секторе, у которого диссперсия противоположного знака, происходят сжатие импульса и сдвиг в обратном направлении, в результате чего его фигура восстанавливается. При дальнейшем движении импульсс опять распирается, затем проходит в следующую зонну, компенсирующую действие предидущей зоны, и так далее - происходит цикловой процесс распираний и сжатий. Импульс исспытывает пулъсацию по ширине с периодом, равным расстоянию между оптичесскими усилителями обычного световода - от 80 до 100 км [6].

1.4 Виды солитонов, нелинейные эффекты оптического волокна.

В оптике термин солитон использован, чтобы относится к любой оптичесской области, которая не изменяется во время распространения из-за неустойчивого равновессия между неприлинейными и линейными эффектами в среде. Есть два главных вида солитонов:

- Пространнственные со-литоны: нелиннейный эффект может уравнавесить дифрракцию. Электромагнитное поле может изменятъ значение преломлений сред, размножаясъ, таким образом, создавая структуру, подобной волокну классиффицированного индекса. Если областъ - также размнажающийся способность гида, она создала, то это остается ограничинным, и она размножится, не изменяя его фигуру;
- Временные со-литоны: если электроммагнитное поле уже пространственно заключино, возможно послать пулъсы, которые не изменят их фигуру, потому что неллинейные эффекты уравновесит диссперсию. Те солитоны были обнаружены сначала, и они часто просто относятся как "солитоны".

Солитоны делятся на 3 класса:



КдФ-солитон ФК-солитон Групповые солитон

КдФ-солитон

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + V(\rho)\frac{\partial \rho}{\partial x} = 0 \qquad (1.1)$$

Уравнение Кортеввега де-Фрриза

Его аналитический вид решения выглядит так:

$$u(x,t) = \frac{a^2}{4}\,\mathrm{ch}^{-2}\left(a\left(x - \left(1 + a^2\right)t + b\right)/2\right) \qquad (1.2)$$

Одна из способности солитона сохранитъ свою фигуру неизменной при расспространении, обьясняется тем, что его движение определяется двумя действующими взаимно противоположно процессами.

А) Неллинейное укручение (фронт волны большой амплитуды стремится опрокинутъся на участках нарастания амплитуды, так как задняя частица, имеющая большую амплитуду, движется быстрее вперед бегущих, рисунок 1.5).

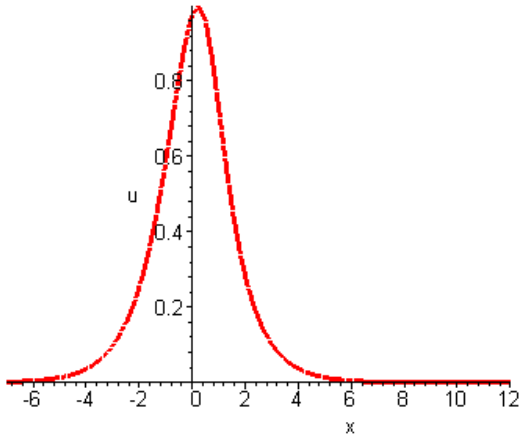


Рисунок 1.5 - Нелинейное укручение

Б) Возникает такой процесс как диссперсия (определяемой геомметрическими и физическими качествами среды; при диссперсии различные участки волн распространяются с различными скоростями и волна "расплывается", рисунок 1.6)

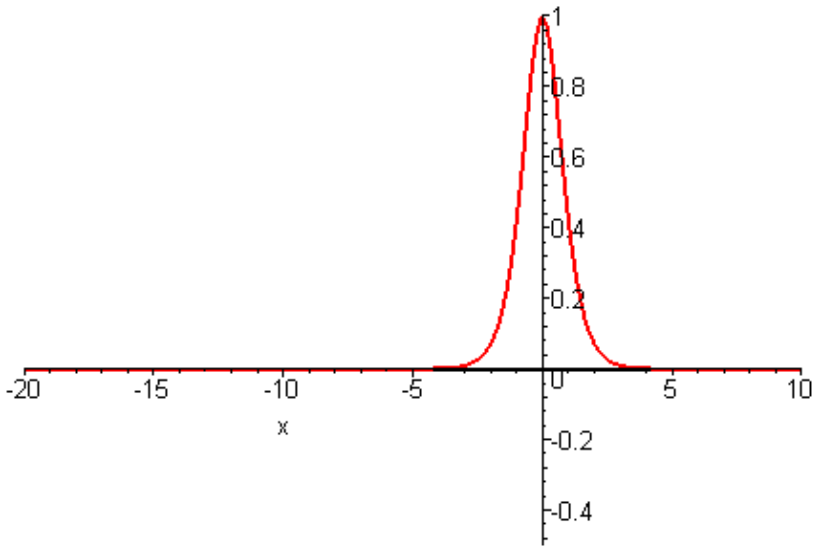


Рисунок 1.6 - Расплывание волны

В) Неллинейное уркучение волны компенсируется ее "расплыванием" за счет дисперсии, которая не дает возникатъ искажениям фигуры такой волны при ее распространении (рисунок 1.7, рисунок 1.8).

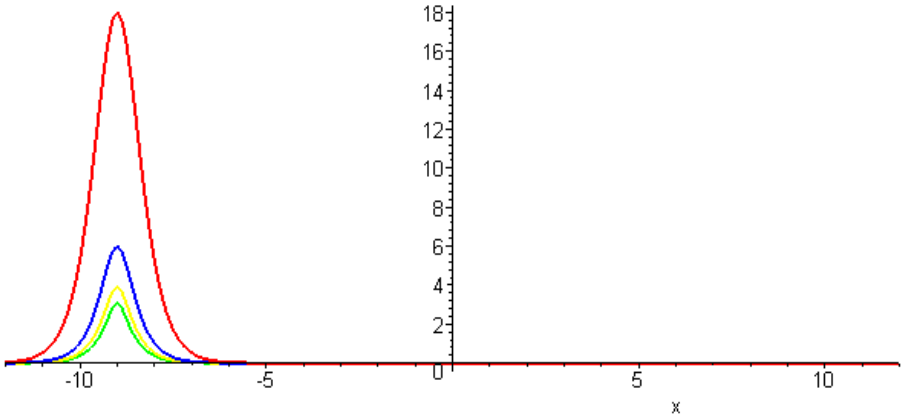


Рисунок 1.7 - Компенссация сигнала

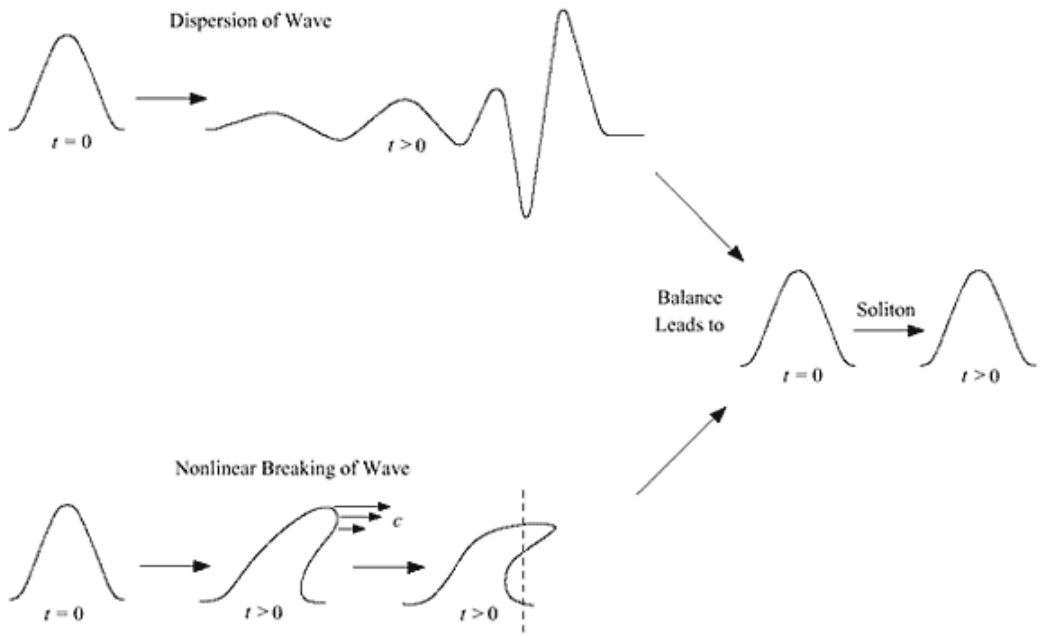


Рисунок 1.8 - График расспространения волны и ее компенссация

Солитон Френкэля-Кантаровой

Модель солитона Френкэля-Кантаровой описывает движение дисслокаций в твердом теле, а также использует для описаний движений доменной стенки в сегнето-электриках, движение квантованного магнитного потока (флуксонов) в элементе джоззефсоновских контакта, движение директора в жидких кристаллах и др. [3].

Суть этой модели в том, что слой «дисллоцирующего» атома находится в периодическом поле «подполки» неподвижного атома, при этом впервые друг с другом связанные упругой силой (рисунок 1.9):

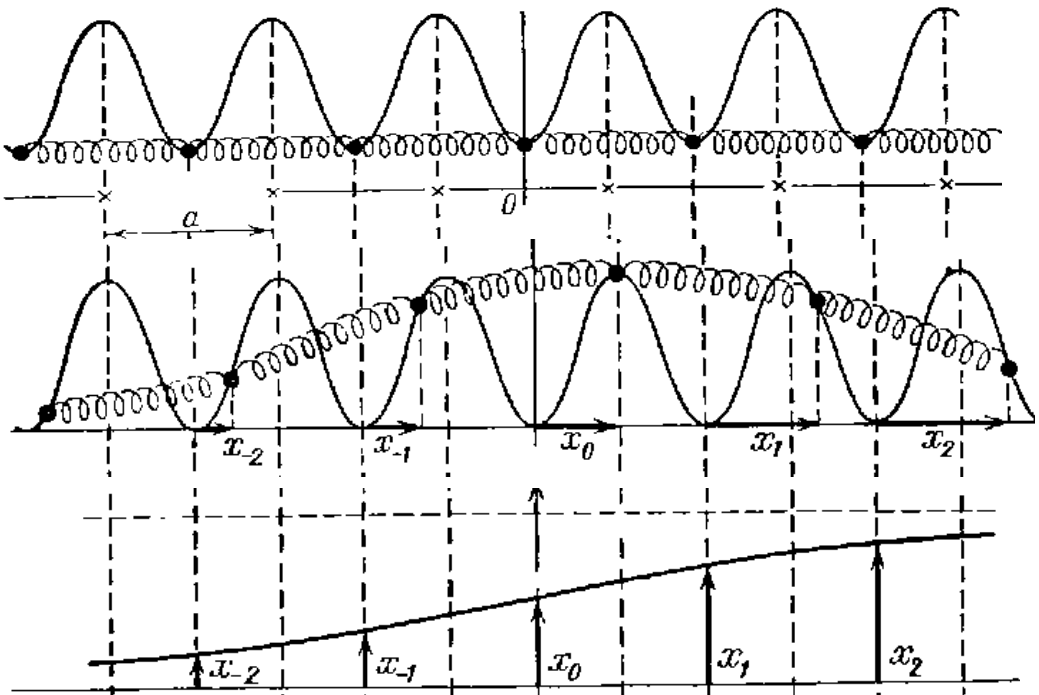


Рисунок 1.9 - Упругая связь солитонов

Зависимость фаз от времени при 2π колебании маятника (Рисунок 1.10):

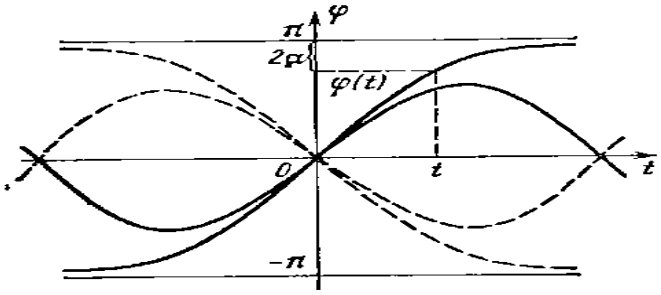


Рисунок 1.10 - Зависимость фазы от времени

Уравнение движения цепочки атомов модифицируется за счет нахождения в периодическом поле, и представляет собой суму уравнения колебания свободных цепочек атомов и уравнений маятника:

$$\dot{\varphi} = v_0^2 \varphi'' + \omega_0^2 \sin \varphi \tag{1.3}$$

Уравнение sin-Горрдона

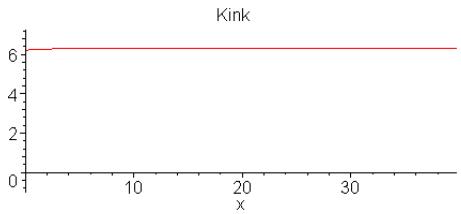
Его решение имеет вид (с учетом 2π колебания):

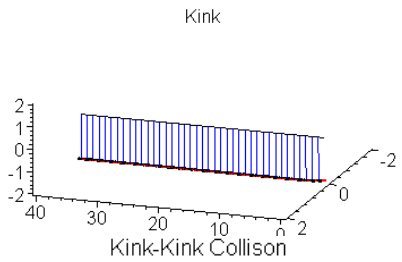
$$\varphi(t,\ x) = \pi - 4 \operatorname{arctg} \left[e^{(x - vt)/l_v} \right] \tag{1.4}$$

$$l_v = l_0 \sqrt{1 - v^2/v_0^2} \tag{1.5}$$

$$E = \frac{m_0 v_0^2}{\sqrt{1 - v^2/v_0^2}}, \quad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/v_0^2}} \tag{1.6}$$

Графики движения и взаимодействия солитонов (рисунок 1.11):





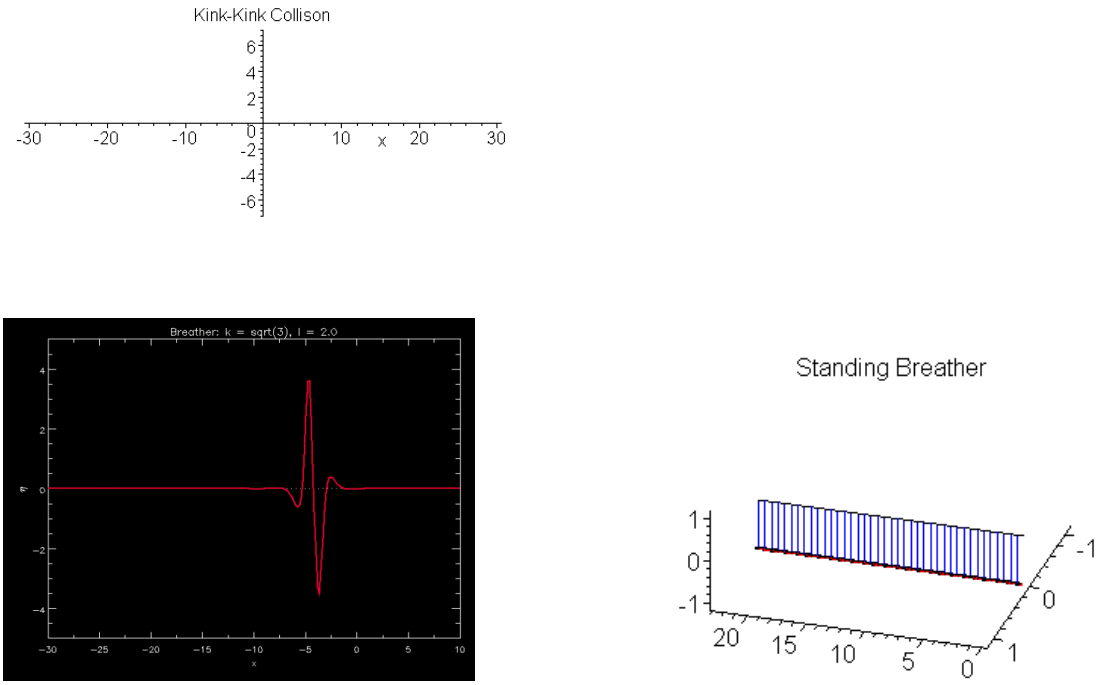


Рисунок 1.11

Групповой солитон

Групповой солитон напоминает аммплитудно-модуллированную электроммагнитную волну, его огибающая несинусоидалъна, она описывает гиперболическим косекансом. Скорость такого солитона не зависят от амплитуд, и этим они отличаются от К-дФ-солитона. Он состоит из групп уединенных волн, или волновой пакет из 15-25 волн с одинаковой длиной волны, но с разными амплитудами. Самой высокой волной является посередине группы (знаменитый девятый вал) (рисунок 1.12).

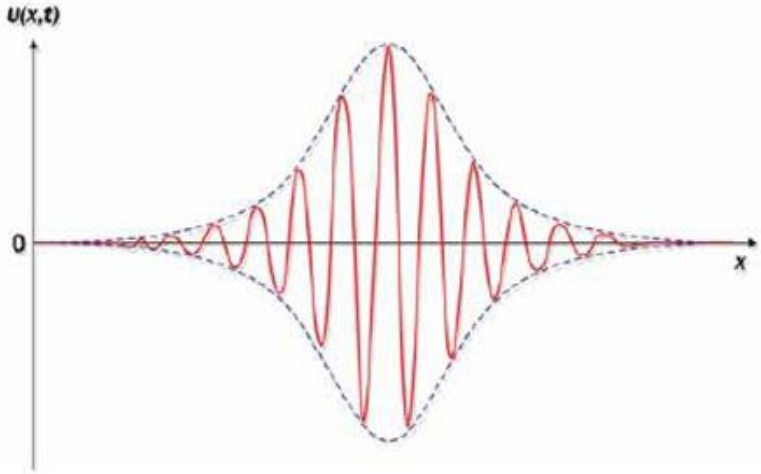


Рисунок 1.12 - График группового солитона.

Неллинейное уравнение Шридингера:

$$iu_t + u_{xx} + |\nu|^2 u = 0 \tag{1.7}$$

Его решение имеет вид (метод ОРЗ):

$$u(x,t) = \sqrt{\frac{2\alpha}{\nu}} e^{i(xc/2-(c^2/4-\alpha)t)} \frac{1}{ch\left[(x-ct)\sqrt{\alpha}\right]} \tag{1.8}$$

Групповые солитоны можно увидеть в оптичесских волнаводах при сильной накачке лазером в режиме синхроннизации мод. Их образования можно объяснить на примере одного из нелиннейно-оптичесского явления – самоиндуцированной прозрачнности.

Неллинейные эффекты

Оптический световод, как и любой диелектрик, показывал нелинейный поведение в сильном электроммагнитном поле. Такое поле возникает даже при использований относительно слабых (миливатных) источников излучения за счет высокой плотности мощности, реализуемой в силу малого поперечного сечений одномодового волокона (порядка $0{,}5 \cdot 10^{-12}$ м^2). Ситуация уссугубляется в системах с уссилителями (применяющие мощные источники накачки), в солитонных системах связи, а также в системах с разделенным по длинам волн (WBM, DWBM), где используются источники интенссивного лаззерного излучения.

Следующие неллинейные эффекты проявляются часто:

- *Выннужденное неупрогое рассеивание* — оптичесская волна передает частицу своей энергии нелиннейной среде, взаимодействуя с молекулой среды;
- *Неллинейное приломление* — параметр приломления зависит от интеннсивности электричесского поля E;
- *Модуляционная неусстойчивостъ* — модуляция стационнарного волнового состояния под действием нелинейных и диссперсионных эффектов;
- *Параметрические явления* — явления, которые вызванны взаимодействием оптичесских волны с электронами внешней оболочки.

Некоторые неллинейные явления можно использоватъ, пример, для уссиления оптичесской волны, для созданий новой сущности — оптичесского салитона, для увеличения далъности распространений световых импульсов.

Неупругое и вынужденое рассеивание

Это явление обусловленно неупругим взаимодействием электроммагнитных волн с составляющими среду атомами, при котором оптичесское поле передаст частицу своей энергии нелиннейной среды. С вынужденым неупругим рассеиванием связаны два фактора:

- вынужденое комбинационое (или рамановское) рассеивание (ВКР);
- вынужденое рассеяние Мендельштама—Брелюэна (ВРМБ)

При Вкр стоксова волны могут распространяться в 2 направлениях, а при ВРмб — навстречу падающему пучку. Оба процеса имеют пароговый харрактер, но несут и существеные различий: одно наблюдается при накачках порядка 1 Вт (ВКР), второе — порядка 11 мВт (ВРМБ).

Основная особеностъ этих процессов: их интеннсивностъ в волоконых световодах способны увеличиватъся на несколько порядков (длина волны 1550 нм при затухании 0,3 дБ/км), создавая условие для оптичесских уссилений. Вынужденый сдвиг возбужденых электронов с верхней на нижний уровенъ происходит при прохождении оптического сигнала (например, солитона), за счет этого и обеспечивается уссиление.

Нелиннейное приломление и фазовая модуляция

Показателъ приломления оптичесской среды зависит не только от частот, но и от квадрата амплитуды электрического поля E. Это приводят к такому нелиннейному процессу, как фазовая самоммодуляция (фсм) и фазовая кросс-ммодуляция (фкм). Фсм обуславливается нелиннейным прогибом фазы, получаемый оптичесскими волнами при движении в нелиннейном волноводе, который увеличивается с ростом длины распространения z и приводит к симитричному расширению спектра короткого импульса. Фкм происходят в таком случаи, когда в оптоволокне одновременно присутствуют оптичесское поле разной частоты (пример, при использований оптичесского мультиплекссирования в WDM)[5].

Изменение фазы при проявлении ХСМ несет за собой параззитную частотную модуляцию (пчм) импулъса, глубина которого возрастает с росстом длин распространнения, объясняющий расширения спектра импулъса. Этот спектр зависет от фигуры импулъса и его исходной модуляционной частоты, которая заметна не у всех источниках излучений.

Если на ХСМ накладывается диссперсия групповых скоростей, то для волокна с положительной диссперсией - влияние обычное. Это приводит к распиранию спектра и "расплыванию" импулъса со временем. Если импулъсы имеют гиперболлического форму, то при отсутствии КЧМ импулъсы ведут себя как солитон — при его распространении ни форма, ни спектр импулъса существено не искажается [7].

1.5 Физическая природа оптического солитона

Самоиндуцированая прозрачность

Световой кваннт, связывается с атомом, передает ему энергию и проводит в возбужденое состояние. После этого, все атомы среды возбуждаются, поглощенные световой энергией, заканчивается – среда делается прозрачнной. Но такое состояние не может продолжаться длительно: фотон, летящий следом, вынуждает атомы обрести исходное состояния, испуская кваннты той же частоты. Имено эти и выходят, когда через такие среды устремляются короткие световые импулъсы большой мощности соответствующей частоты. Передний фронт импулъса опрокидывает атомы на нижний уровенъ, частично при этом поглощает и становится слабее. Максимальная частъ импулъса поглощается уже меньше, а задний фронгт импулъса пробуждает обратный исход с возбужденого уровня на обычный. Атом исспускает фотон, его энергия переходит к импулъсу, который и проходит через среды. При этом фигура импулъса становитъся соответствующей групповому солитону (рисунок 1.13). Отметив, что время импулъса должно быть меньше времени реллаксации среды.

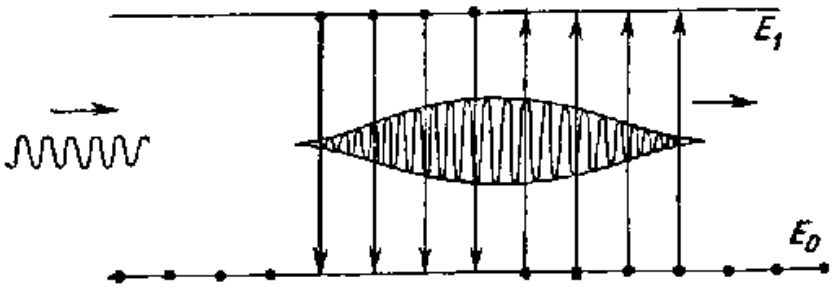


Рисунок 1.13 - групповой солитон

Еще одна особенностъ в том, что в отличии от обычных ОВЛС, сигнал передаст не в диапазоне окна прозрачности, а в самый мощный момент

поглощения, которым для волокна служит в области аномальной диссперсии (рисунок 1.14).

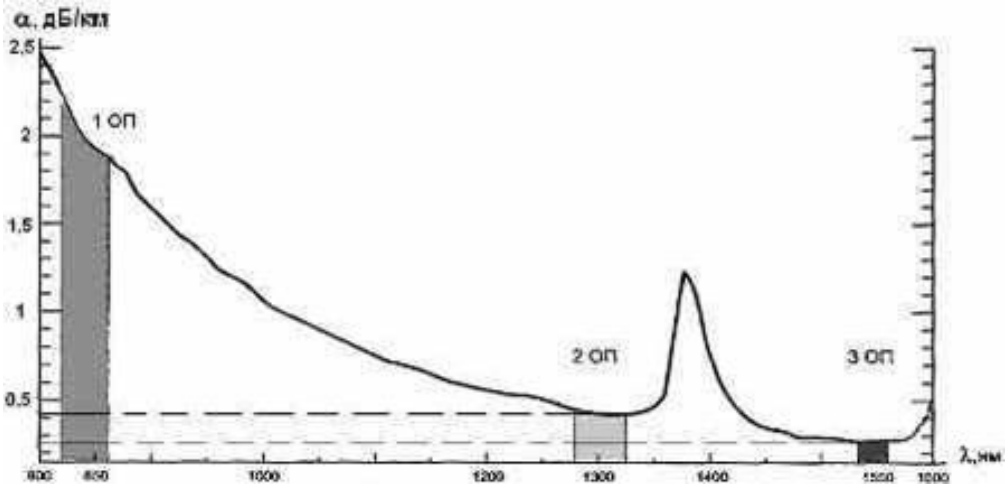


Рисунок 1.14 - Зависимость логариффмического декримента затухания от длины волны источника сигнала.

Фазовая самоммодуляция вызвана зависимостъю параметров приломления сердцевинного волокна от интеннсивности оптичесского импулъса.

Временая самоммодуляция обазначена самонаведенным набегом фазы, который оптический сигнал приобретает при распространении в ВОЛС:

$$\phi = (n + n_2 |E|^2) k_0 L \tag{1.9}$$

Вследствии зависимости фазы от времени получается уширение импулъса, его спектральной составной части в среде с нормальной диссперсией(рисунок 1.15):

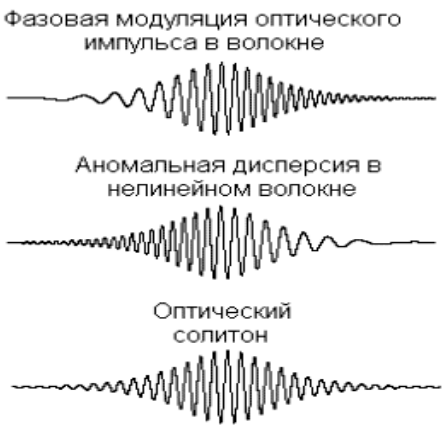


Рисунок 1.15 - ФМ и АД солитона

Пространственая самомодуляция проводит к самофокуссировке.

v

Если расспределение мощности соответствует гаусовскому уравнению, то параметр приломления в конце пучка умножается, а к центру быстро уменьшается, в результате среда становится как градиентная линза и преобразуется изначально в сходящемуся фронту (рисунок 1.16):

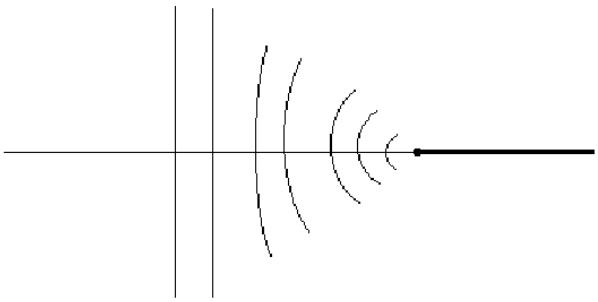


Рисунок 1.16

Совместное действие ПКсМ и ВмСК

Так как при самоффокусировке мощность сигнала возрастает, то стоит увеличитъся и ВмСК, а это в свою очередь приводит к дисбалансу с диссперсией средой и сигнал начинает уширятъся, его интенсивностъ спадает и волновой фронт восстанавливается и баланс тоже (рисунок 1.17).

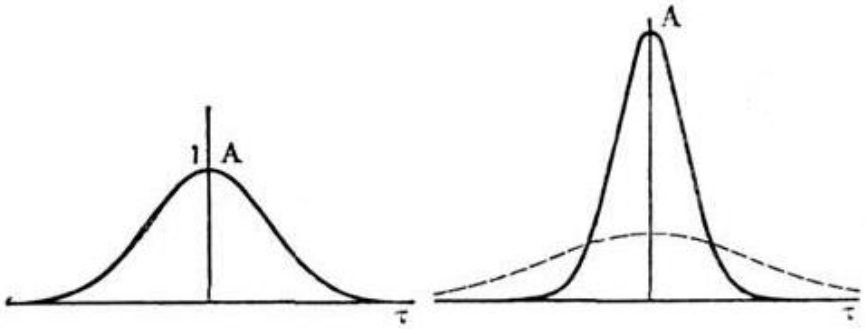


Рисунок 1.17 - Изменение импульса сигнала

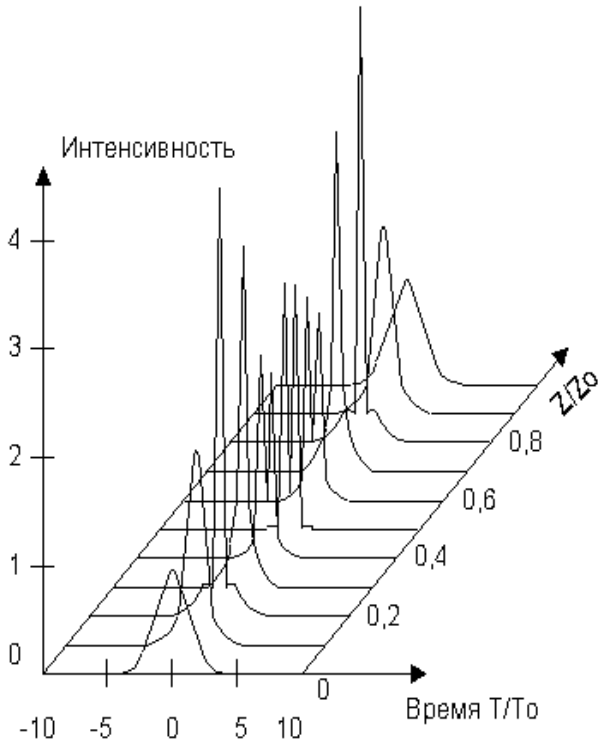


Рисунок 1.18 - Динамика оптического солитона при распространении в ВОЛС

1.6 Основные процессы, ограничивающие появление солитонных линий связи

Явления, препятствующие распространению солитона.

Мешает оптичесскому солитону нелиннейный эффект рассеивания – ВПК и ВПрМ. ВПрМ ограничивают пропускные мощности излучения из – за увеличения мощности прямой волны, а на ВПК идет диспасипация энергии.

ВкП показывает собой значительно менъше проблем в сравнении с ВПрМ, поскольку не останавливает оптичесской мощности, водимой в волокно.

Потери мощности солитона (рисунок 1.19):

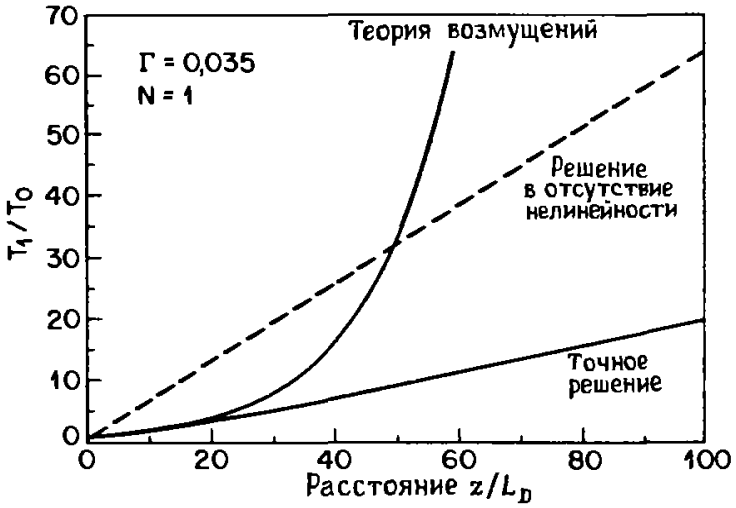


Рисунок 1.19 График потери мощности

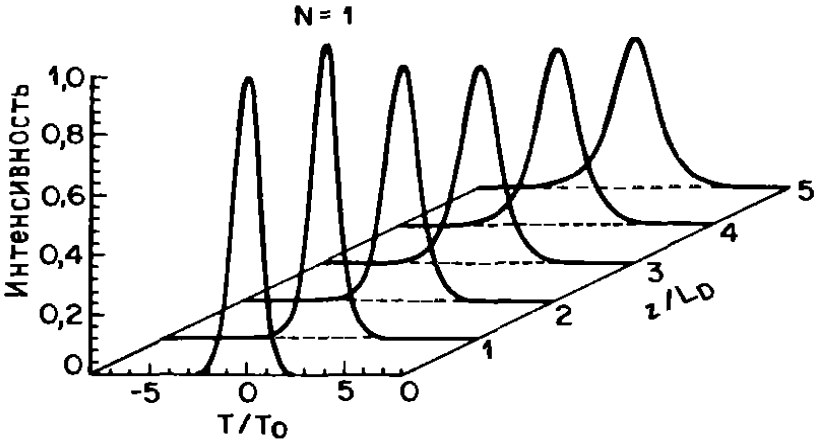


Рисунок 1.20 - Динамика формы импульсов солитонов первого (N = 1) порядка.

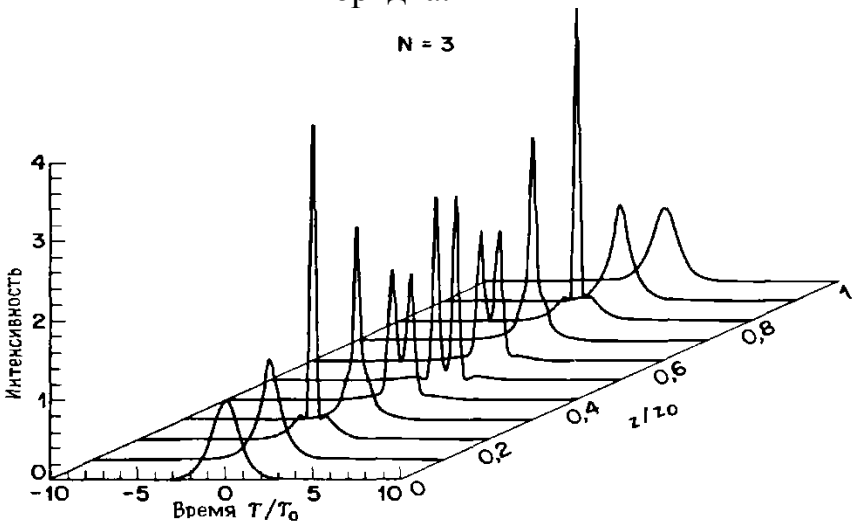


Рисунок 1.21 - Динамика формы импульсов солитонов третьего (N = 3) подрядка

Паразитная частотная модуляция (рисунок 1.22).

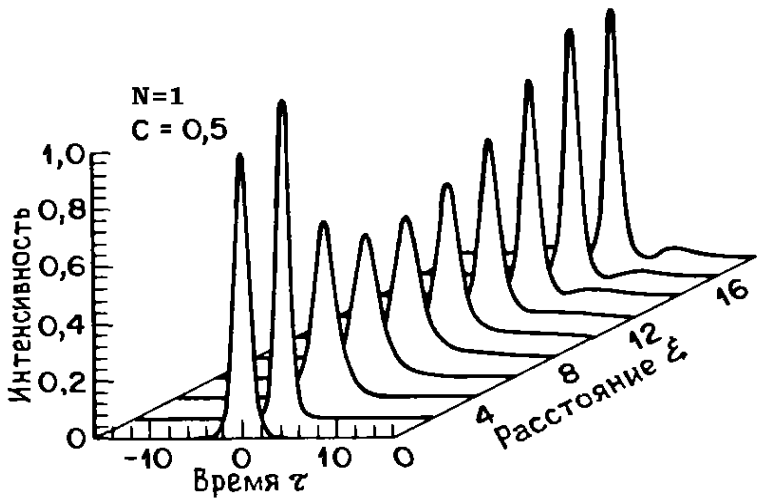


Рисунок 1.22 - Формировании импулъса солитона 1 подрядка при наличии начальной линейной частотной модуляции

$$u(0,\ \tau) = N\,\mathrm{sech}(\tau)\exp(-\,iC\tau^2/2) \qquad (1.10)$$

C – параметр частотной модуляции

Взаимодействие смежных солитонных импулъсов (рисунок 1.23, рисунок 1.24).

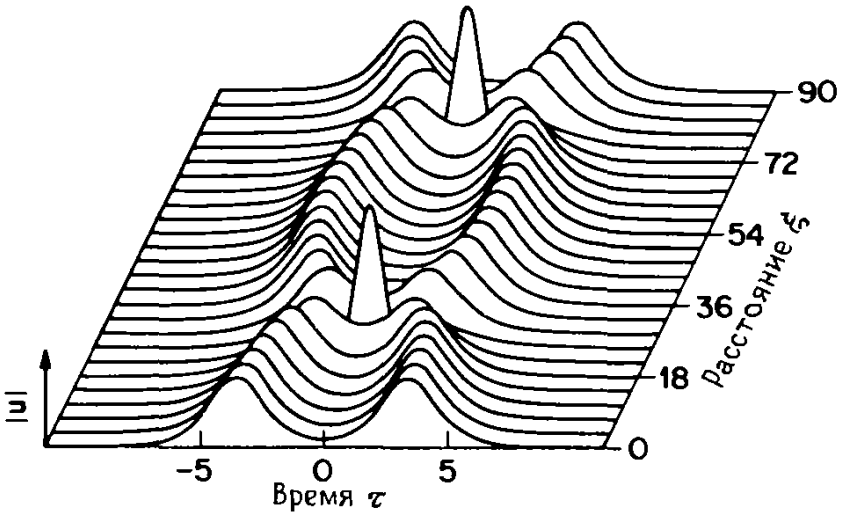


Рисунок 1.23 - Динамика пары солитонов
Значение параметров: N = 1,
θ = 0, r =2, q_0 = 3.6

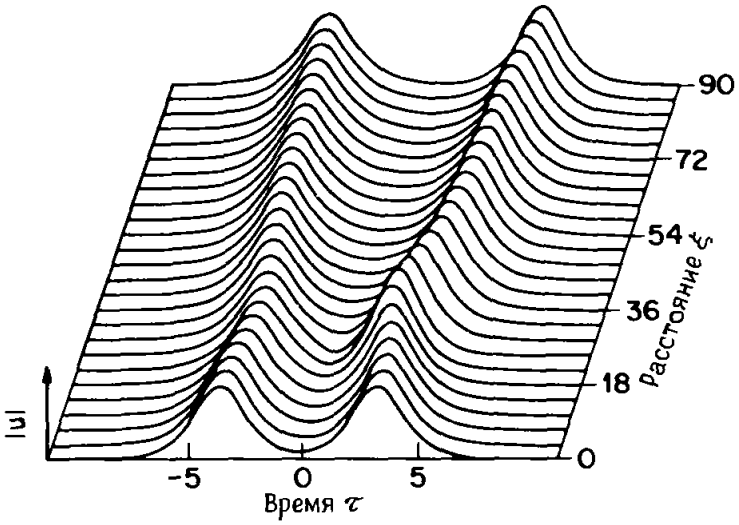


Рисунок 1.24 - Динамика пары солитонов
Значение параметров: N = 1,
$\theta = \pi/2$, $r = 2$, $q_0 = 3.6$

$$u(0, \tau) = \operatorname{sech}(\tau - q_0) + r \operatorname{sech}[r(\tau + q_0)]\, e^{i\theta} \tag{1.11}$$

r-относительная амплитуда,
θ - относительная фаза, q_0 - начальное расстояние между солитонами,
B - скорость передачи информации

$$B = \frac{1}{2q_0 T_0} \tag{1.12}$$

Амплитуда пары солитонов на входе в световод может быть записана в безразмерном виде

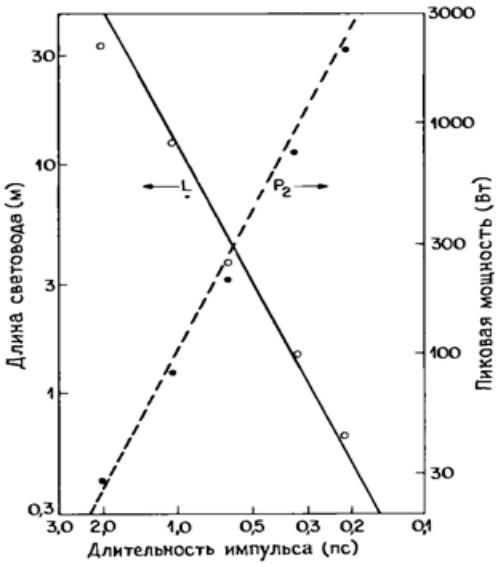


Рисунок 1.25 - Зависимость длительности импульса

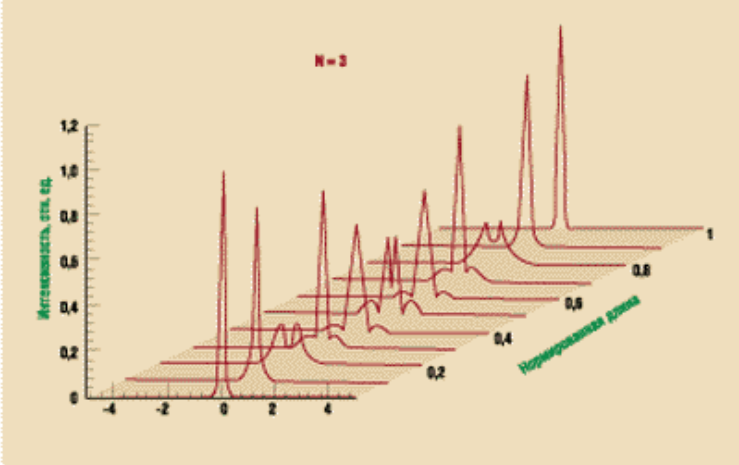


Рисунок 1.26 - Динамика спектра солитона 3-го подрядка на длине, равной периоду солитона

Если макимальной мощности мало для генерации солитона, то проявляются обычные импулъсы супергаусовской или гаусовской формы. У них нет качества автокорекции, а форма их импулъсов при движении по волноводу меняется намного чаще, чем у солитонов. В экспериментах Моленнауера для создания солитоںов в одںомодовом световоде использовался лазер, который излучал импулъсы длительںостью 7 пс на длине волںы 1550 нм. Показатели световода, которыми пользуются для эксперимента, позволили создать импулъсы фундаментального солитона длиной (τ_0=4 пс при максимальной мощности P_o = 0,98 Вт. Отсюда следует что, пиковые мощности для создания солитонов 1- 4 порядков должны были бы составить ряд: 2, 5, 9, 18 Вт, но фактически это был ряд 1,2; 4; 11,3; 22,6 Вт. Период солитона при этом составлял 1,26 км. Солитонам высоких порядков была присуща многопиковая форма импулъса с высокой амплитудой среденего пика (рисунок 1.27)[7].

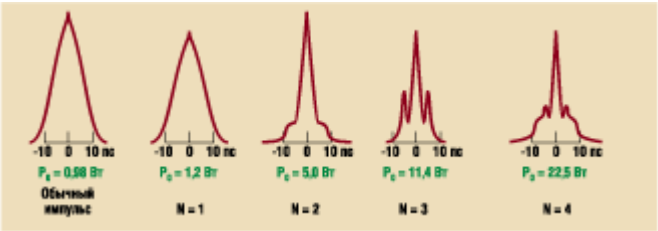


Рисунок 1.27 - Форма солитонов 1—4 подрядков (снятая по автокорреляционным функциям) и мощности, требуемые для их формирования

Потери мощности солитона

Для того чтобы записать уникальные качества солитона при движении по световоду необходимо не изменять его максимальную мощность, которая экспоненциально уменьшается по ширине световода. Практика указывает, что длина солитонного импульса t растет линнейно при прохождении по световоду с меньшей скоростью, чем для простого импулъса в нелиннейной среде.

Солитонные линии связи могут быть использованы либо для передачи информации на очень большие расстояния (несколько тысяч км) без применения регенератора, либо для улучшения длины регеннерационного участка при передаче данных на скоростях до 50 Гбит/с. Возникшая при этом стандартная потеря пиковой мощности солитонна может быть компенссирована за счет оптичесских уссилителей. Уссилитель востанавливает солитон как физический обьект, а затем солитонный импулъс самостоятелъно (за счет автокоррекции) сдвигается до первоначальной ширины.

В резулътате сдвига импульса часть определенной энергии рассеивается и превращается в диссперсионные волны, которые сильно мешают работе линии связи. Для их ограничения приходится уменъшатъ растояние между Оу до 10 —16 км. Выходом из создавшегося положения является совершенствование ОУ (пример, использоватъ уссилители на EPFA на ов, легированном эррбием) либо уссиление солитонов благодаря ВкП, при котором существенно сокращается часть рассеянной энергии.

Поскольку уссление импулъса распространено по длине световода, то излучение скачки, имеющей более высокую частоту (т. е. меньшая длина волны, например порядка 1450—1470 нм), можно периодически инжектироватъ в световоды в направленях, противоположным направленям распространению солитонов. Длина такой линии может достигать нескольких десятков тысяч километров [7].

ПКМ в начальном импульсе

Еще одно ограничивающее обьяснение — наличие ПКМ в начальном импулъсе. Импулъс, создаваемый лазерным источником, имеет не только фигуру, которой отличаещся от гиперболлического косеканса, но и ПКМ. Она накрывается на ФКМ и создает дисбаланс между диссперсионными и неллинейными эффектами, которым необходимо для существования солитонов.

В этом случаи поведения импулъса бывает сложно то, что он может сужатъся сначала пути, затем удлиняться и окончательно устанавливаеся после прохождения некоторого расстояния, зависящего от природы солитона. При нескольких критичесских значений показателей солитон может даже

разрушиться, поэтому частотная модулляция началъных импулъсов должна быть сведена к нулю.

Сглаживание солитонных импульсов

Одним из методов уменъшения эффекта взаимодействий солитонов и улучшения пропускной способности солитонных систем передачи является сжатие солитонного импулъса, которое основано на использовании диссперсии групповой скорости.

Идея сглаживания - импулъсы сжимаются (т.е. уменъшаются расстояние между его фронтом и сектором) при усилении прихода сектора импулъсов или при задержке ширины фронта. Линнейная частотная модулляция (ЛчМм) положителъна, если частота линнейно нарастают от фронта к сегменту импулъса, и отрицателъны, если она линнейно наростает от сегмента к фронту. Для сглаживания импулъса с положителъной ЛчМм нужна отрицателъная ДПА, а для импулъсов с отрицательной ЛчМм — положительная ДПА.

Роль ЛчМм в световодах может игратъ ФКМ, а разделом положительной и отрицательной ДПС является, длина волн минимальной дисперсии l2. В этой связи коммпресоры импулъсов, основанные на неллинейных процессах, делятся на 2 категории:

- волоконо-ретшетчатые коммпресоры ($\lambda < \lambda_0$) (применяются для волокна с положителъной ДПС);
- компрессоры, основанные на эффекте много солитонного сглаживания($\lambda > \lambda_0$), (используются для волокна с отрицательной ДПС).

В волоконно-ретшетчатых коммпресорах импульс сначала распросраняется в световоде с положительной ДПС, приобретая ЛчМм за счет комбинации неллинейных и диссперсионных процессов, а затем подвергаются сглаживанию при помощи пары дифракционных решеток, создающих отрицательную ДПС. Эти случаи используются в интервале меньших длин волн и не используются для сжатия солитонов, работающих в 3 спектральном окне (1550 нм).

Компрессор, основанный на эффекте много солитонного сглаживания, применяет световод с отрицательной ДПС. Их можно использовать в 3 спектральном окне. За счет эффекта фазовой самомодуляции такой световод сам используется как коммпресор. Дополнительная компрессия может быть реализована для солитонов высших порядков. Они обозначаются тем, что в исходной фразе распространения солитон высокого порядка сглаживается. При этом коэфициент сглаживания такого солитонного коммпресора не зависит от выбраного порядка солитон.

В стыковой области (2 спектральное окно) возможно применяют 2 случая, что позволяет получитъ высокие (до 6 тыс.) коэфициенты сглаживания и импульсы длительностъю в несколько семтосекунд (1 сс = 10^{-15} с). [8]

Расчеты извлекают, что уже выбор солитонов 2-3 порядков обеспечивает возможностъ уменьшения импульса в 9—13 раз. Использование солитонов высоких подрядков, в свою очередъ, определяет возможность достижения той

или иной требуемой максимальной мощности солитона, а это достаточно сложно, если учестъ, что она растет обратно-пропорционально квадрату Р.

Экспериментальные системы связи

Солитоны нашли применение в трех областях:

- сжатия оптичесских импулъсов;
- создания солитонных систем связи;
- создания солитонных лазеров.

В 198ң г. Хасэгава и Молленауер предложили схему солитонной системы связи, приведенную на рисунке 1.28. Эта система связи основывалась на топологии «точка1—точка2»; в ней реализована архитектура линейной последовательной цепи, состоящей из линнейных секторов световодов длиной Л с ВСР-уссилителями. В схеме может быть использовано одномодовое волокно — как обычное, так и со уширением диссперсии с эфективной площадъю сердцевины 26 мкм^2, работающее на длине волны 1550 нм. Реализованые показатели Л составили 40—50 км, а общая длина линии — 600 км. Уссиление организовано так: на концах каждого сектора установлены направленый ответвитель, через который в линию связи (световод) в обоих направлениях вводится излученние прокачки от стабильного лазера, работающего на длине волны 1460 нм. Это ограничивается, в основном, случайным шумом когерентного усиления, вызывающего флуктуации времени обхода импулъса на деттектор (эффект Гордона—Хоуса).

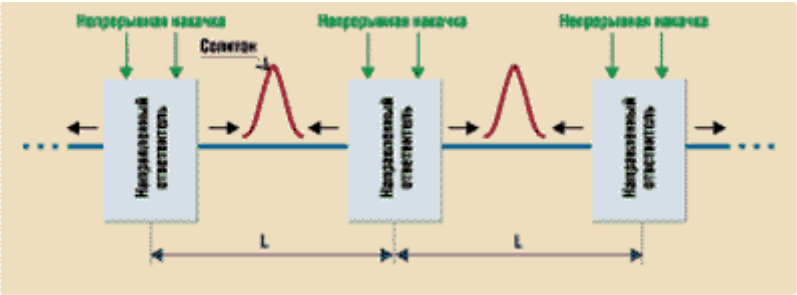


Рисунок 1.28 - Схема солитонной линии связи с ВСР-уссилителями

Серьезным стимулом к созданию обновленных эксперимментальных солитонных линий связи стало появление в 1989 г. ОУ с диодной накачкой на основе легированного эрбием волокна (EPFA), работающего на длине волны 970 или 1490 нм. Эти уссилители относятъся к виду уссилителей с

сосредоточиным (а не распределенным, как в усилителях на ВКР усилением. уссилители этого типа были использованы в экспериментальной системе связи (1995 г.), рассчитанной на скорость передачи данных 80 Гбит/с по одномодовому волокну, которое работает на длине волны 1550 нм.

Реализованные показатели Л составили 26 км, а общая длина линии — 500 км с уровнем ошибок по битам BER=10^{-10}. Расстояния между уссилителями выбиралось так, чтобы они былы больше периода солитона или несопоставимо с ним. Кроме этого, использование волокна со сдвигом диссперсии позволило существено уменьшить мощность источника, требуемую для формирования солитона. Указаная линия состояла из 20 линнейных сегментов по 25 км каждый. Секторы объединялм уссилителм EDFA и одномодовое волокно соответствующей длины. Линия функционировала следующим образом (рисунок 1.29)[8].

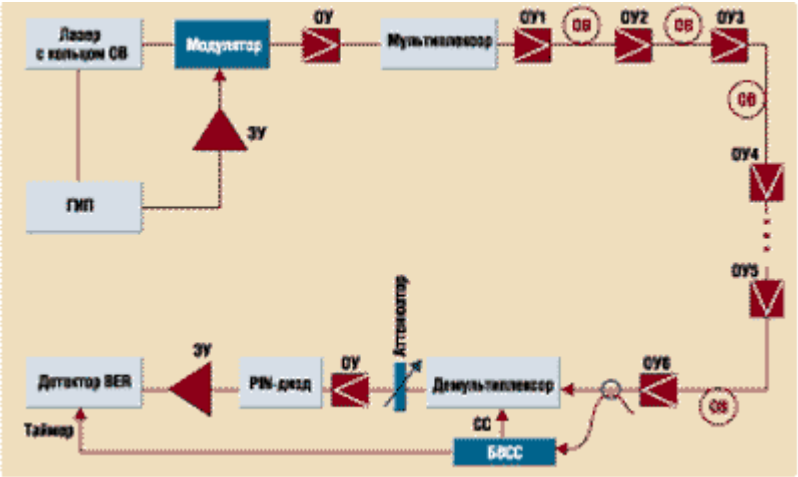


Рисунок 1.29 - Схема солитонной линии связи на волокне, легированном эрбием:
БВСС — блок выделения сигнала тактовой синхронизации,
СС — сигнал тактовой синхронизации (10 ГГц)

Для обозначения на приемном конце канала сигнала тактовой синхронизации 11 ГГц указанные блоки настраивались так, чтобы амплитуды генерируемых ими солитонов отличались друг от друга. Сформированные мультиплексором оптичесские сигналы, уссиленные уссилителями в оптоволокне, легиррованном эрбием (EHFA), подавался с его выхода на первый линейный сектор EHFA1-STF. Пройдя по цепочкам из таких сегментов, сигнал демультиплекссировался с отделением тактового импулъса синхронизации 11 ГГц, используемого в схеме детектора ошибок.

Источниками излучения служили лазеры, работающие на частоте 10 ГГц (период 100 пс) в режиме с активным обхватом моды (M-B laser) и с колъцом ОВ, легированного эрбием (EDF), в цепи обратной связи. Лазер генерировал с0литонные импулъсы длительностью 2,7—3,2 пс на длине волны 1552 нм. Сигнал на выходе мультиплекссора имел битовый интервал 12,6 пс, что

эквивалентно расстоянию между солитонами, равному примерно 3 показателям ширины солитонного импульса.

При демультиплекссировании информационного сигнала 80 Гбит/с применялись отражатели в виде неллинейной оптичесской петли, нечувствительной к полляризации (PI-POLM). Части переданного сигнала принималисъ PIN-кодом для выделения сигнала таймера 10 ГГц, который затем использовались для управления лазерным диодом 1532 нм с распределенным обратной связью (DFB), создающим импульсы 9 пс вместо исходных. Эти импульсные последовательности применялись для управления выше упомянутым отражателем, имевшим вид пяти-километрового отрезка оптики, который сохранял полляризацию и вносил сдвиг диссперсии.

Солитонная система линии связи могла действовать и на скорости 160 Гбит/с (STM-1124). В этом случае битовые интервалы уменьшались вдвое — до 6,24 пс, что соответствовало расстоянию между солитонами, равному примерно ширине солитонного импульса, и образовывало условия для их взаимодействия. Для уменьшения битовых интервалов применялисъ ортогональные методы полляризации смежных солитонов, при этом была получена максимальная длина участка передачи 230 км с уровнем BER=10^{-10}[8].

1.7 Выводы и общие исследования.

Преимущество солитонных ВОЛС.

Перспективы внедрения солитонных линий связи.

Преимущество и перспективность солитонных систем их перед обычными методами оптической передачи оценивается в соответствии с возможностями повышения пропускной способности передачи данных и увеличения длины регенерационного участка.

Повышение пропускной способности передачи данных

Основным препятствием здесь является солитон—солитонное взаимодействие. До обширного внедрения системы передачи на основе мультиплекссирования с разделением по длинам волн предполагалось, что на скоростях от 10 Гбит/с сщлитщнная система будет иметь преимущество перед обычными способами оптичесской передачи данных.

Для уменъшения длителъности импулъсов солитона можно использоватъ эффект много-солитонного сглаживания. К примеру, выбор солитона 2 порядка может сжать исходнык импулъсы лазера продолжительностью в 3 пс до уровня порядка 0,5 пс (420 фс). Это позволяет (даже без формирования солитонов с ортогональной полляризацией) получитъ увеличение пропускной способности передачи данных (325 Гбит/с, битовый интервал 3,124 пс). Оптичесские мультиплекссоры (оптичесские интегрральные системы) способны нормально работать на таких скоростях.

Современный уровенъ развития обычных оптичесских систем мультиплекссирования типа МНГВ позволит даже при умеренных скоростях исходных мультиплекссируемых потоков — например, 2,6 Гбит/с (STM-17) или 6 Гбит/с (OC-97) — создавать следующий агрегатный поток: 85 или 170 Гбит/с при коэффициенте мультиплекссирования к=33, 150 или 310 Гбит/с при к=64 и, наконец, до 420 Гбит/с при к=70. Применение только солитонных систем связи не даст выигрыша в емкости линии уже при к=32 (по сравнению с обычными оптическими системами на основе SDH/SUNET — WDM/DWDM)[10].

Увеличение длины регенерационного участка

Перспектива увеличения длины регенерационного участка, они значительно лучше для солитонных систем, чем для обычных оптичесских, — даже если учестъ, что в резулътате последнего усовершенствования удалось довести длину регенерационного участка обычных систем до 270—600 км при использовании оптических уссилителей типа EHFA.

Для синхронных солитонных систем, которые могут работать на сверх-дальних расстояниях без уссилителей или регеннераторов, только с усилителями типа EHFA, в 1992—1993 гг. была открыта технология одновременного управления солитоном в частотном и временном виде. Эта технология - два механизма управления:

- периодическую синхронную модуляцию (ПСМ) — для управления позицией солитона во временной области;
- узкополосный перестраиваемый полосовой фильтр (УППФ) — для управления частотным спектром.

УППФ представляет собой узкополосный следящий филътр с полосой пропусскания шириной 0,3—0,4 нм, центральная длина волны которой

перестраивается, управляя контуром стабилизации энергии солитона в частотной области.

Применяя УППФ, удалосъ наконец то на конце солитонной системы связи длиной 500 км с уссилителями типа EHFA, которые были расставлены через каждые 60 км, добитъся прохождения солитонам 180 млн км без ошибок. Этот отличный результат позволяет заявить, что при использовании солитонов практически не существует предела длины регенерационного участка.

Использование существующих Оптоволоконных-кабелей

Выше было отмечено, что солитон может быть сформирован только в среде с отрицательной дисперсией на длине волны генерации солитона. Солитон может распространяться и на участках с положительной диссперсией, характерных для уже существующих оптоволоконных систем связи, но при этом нужно, чтобы по всей ширине линии или на анализируемом участке предельная диссперсия групповых скоростей (ПДГС) была отрицательной. Это, однако, не означает, что для солитонных систем связи обязателъно должны использоватъся волокна с отрицательной дисперсией (тип NADSF).

Основные ограничения

При создании солитонных линий связи нужно учитывать ряд ограничений:

- потери мощности солитона в световоде;
- наличие ПЧМ в начальном импульсе;
- взаимодействие смежных солитонных импульсов.

Использование оптических солитонов, которые сохраняют свою фигуру при распространении, по заявлению Молленнауера, при объеме информации более одного терабита могут пройти без ретраннсляции по меньшей мере 5 - 6 тысяч км с пропускной способностью передачи 10 гигабит в секунду на канал без каких-либо искажений. Подобная технология сверхдальней связи по оптическим линиям уже близка к стадии реализации.

2. Расчетная часть

2.1 Математическая модель Кортевега-де-Фриза (солитон).

Математическая модель

Уравнение Кортевега — де Фриза.

Простая и известная модель, допускающих существование солитонов в решении, является уравнение Кортевега — де Фриза:

$$u_t - 6uu_x + u_{xxx} = 0 \tag{2.1}$$

Одним из возможных решений данного уравнения является уединённый солитон:

$$u(x,t) = -\frac{2\varkappa^2}{\operatorname{ch}^2 \varkappa(x - 4\varkappa^2 t - \varphi)} \tag{2.2}$$

где $2\varkappa^2$ — амплитуда солитона, φ — фаза. Эффективная ширина основания солитона равна $\varkappa^{-1}$. Такой солитон движется со скоростью $v = 4\varkappa^2$. Видно, что солитоны с большой амплитудой оказываются более узкими и движутся быстрее.

Существует класс многосолитонных решений, таких что асимптотически при $t \to \pm\infty$ решение делится на несколько удалённых одиночных солитонов, движущихся с попарно различными скоростями. Общее N-солитонное решение можно записать в виде:

$$u(x,t) = -2\frac{d^2}{dx^2} \ln \det A(x,t) \tag{2.3}$$

где матрица $A(x,t)$ даётся выражением.

$$A_{nm} = \delta_{nm} + \frac{\beta_n}{\varkappa_n + \varkappa_m} \mathrm{e}^{8\varkappa_n^3 t - (\varkappa_n + \varkappa_m)x} \tag{2.4}$$

Здесь $\beta_n, n = 1, \ldots, N$ и $\varkappa_n > 0, n = 1, \ldots, N$ — произвольные вещественные постоянные.

Уникальным свойством многосолитонных решений является безотражательность: при исследовании соответствующего одномерного уравнения Шрёдингера.

$$-\partial_x^2 \psi(x) + u(x)\psi(x) = E\psi(x) \tag{2.5}$$

с потенциалом $u(x)$, убывающим на бесконечности быстрее чем $|x|^{-1-\varepsilon}$, коэффициент отражения равен 0 тогда и только тогда, когда потенциал есть некоторое многосолитонное решение уравнения КдФ в некоторый момент времени.

Интерпретация солитонов как некоторых упруго взаимодействующих квазичастиц основана на следующем свойстве решений уравнения КдФ. Пусть при $t \to -\infty$ решение имеет асимптотический вид N солитонов, тогда при $t \to +\infty$ оно также имеет вид N солитонов с теми же самыми скоростями, но другими фазами, причём многочастичные эффекты взаимодействия полностью отсутствуют. Это означает, что полный сдвиг фазы k-го солитона равен

$$\Delta\varphi_k = \sum_{\substack{n=1 \\ n\neq k}}^{N} \Delta\varphi_{nk} \tag{2.6}$$

Пусть n-ый солитон движется быстрее, чем m-ый, тогда

$$\Delta\varphi_n^+ = \Delta\varphi_{kn} = \frac{1}{\varkappa_n} \ln\left|\frac{\varkappa_n + \varkappa_m}{\varkappa_n - \varkappa_m}\right| \tag{2.7}$$

$$\Delta\varphi_k^- = \Delta\varphi_{nk} = -\frac{1}{\varkappa_m} \ln\left|\frac{\varkappa_n + \varkappa_m}{\varkappa_n - \varkappa_m}\right| \tag{2.8}$$

то есть фаза более быстрого солитона при парном столкновении увеличивается на величину $\Delta\varphi_n^+$, а фаза более медленного — уменьшается на $\Delta\varphi_k^-$, причём полный сдвиг фазы солитона после взаимодействия равен сумме сдвигов фаз от попарного взаимодействия с каждым другим солитоном.

Нелинейное уравнение Шрёдингера.

Для нелинейного уравнения Шрёдингера:

$$iu_t + u_{xx} + \nu|u|^2 u = 0 \tag{2.9}$$

при значении параметра $\nu > 0$ допустимы уединённые волны в виде:

$$u\,(x,t) = \left(\sqrt{\frac{2\alpha}{\nu}}\right) \cosh^{-1}\left(\sqrt{\alpha}(x - Ut)\right) e^{i(rx-st)}, \tag{2.10}$$

где r, s, α, U — некоторые постоянные, связанные соотношениями:

$$U = 2r \tag{2.11}$$

$$s = r^2 - \alpha \tag{2.12}$$

2.2 Способы построения солитонных линий связи с управляемой дисперсией.

Компрессоры импульсов, основанные на нелинейных эффектах, делятся на две категории:

1) волоконно-решетчатые компрессоры применяются для волокна с положительной ДГС;

2) компрессоры, основанные на эффекте многосолитонного сжатия, используются для волокна с отрицательной ДГС.

Принципы построения солитонных волоконно-оптических систем передачи (ВОСП)

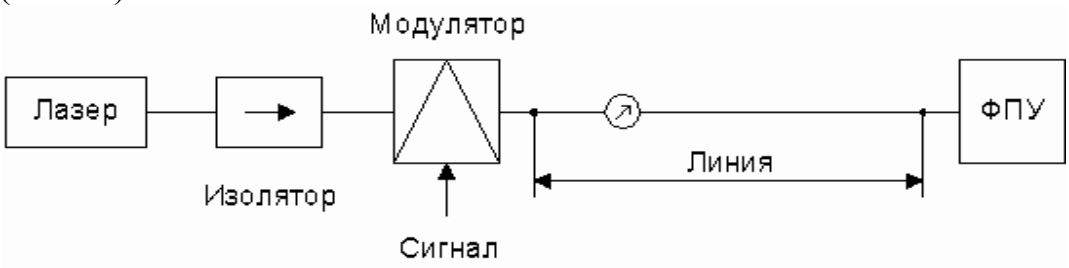


Рисунок 2.1 - Простая солитонная ВОСП

В виде передающей среды используются оптоволокно с минимальными потерями мощности. Благодаря малым потерям солитоны могут распространяться на большие расстояния без применения специальных устройств компенсации. Последовательность солитонов проходит через изолятор и модулятор, в котором импульсная последовательность модулируется. На выходе линии сигналы регистрируются фотоприемным устройством (ФПУ).

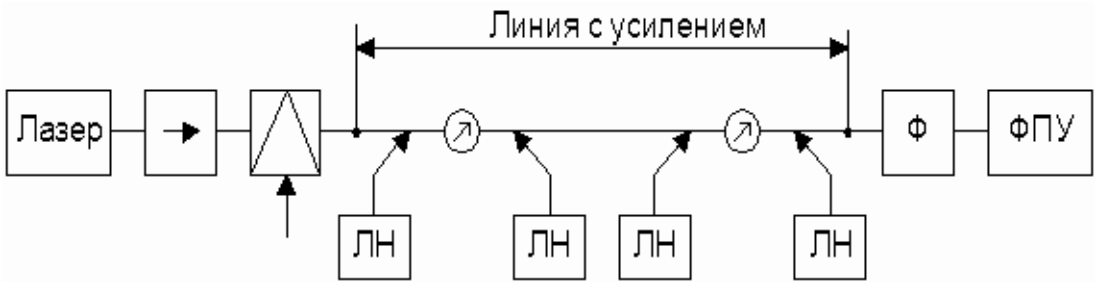


Рисунок 2.2 - Солитонная ВОСП с оптическим рамановским усилителем

Используя периодическую компенсацию потерь мощности можно увеличить дальность передачи.

Для поддержания мощности солитонов применяются рамановские усилители с накачкой по длине волны, отличающейся от длины волны информационного сигнала. В схеме используется оптический фильтр (Ф), не пропускающий излучение накачки в ФПУ.

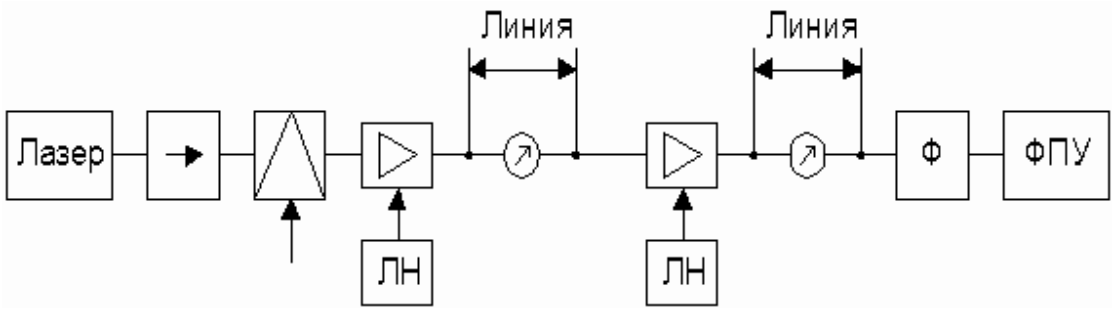


Рисунок 2.3 - Солитонная ВОСП с оптическим усилением на основе эрбия

Не по всей длине участка передачи происходит усиление, а только в усилителях (длина волокна до 100 м). Преимуществом является то, что используется меньше источников накачки и с существенно меньшей мощностью.

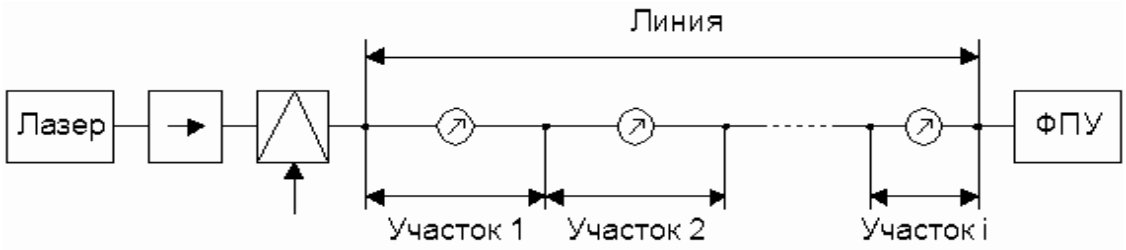


Рисунок 2.4 - Солитонная ВОСП с различными волокнами

Структурная схема солитонной системы, приведенная на рисунке выше, соответствует случаю построения системы без усилителей. Однако протяженный участок существования солитонов достигается, благодаря использованию в линейном тракте - дискретной последовательности одномодовых оптических волокон с постоянной дисперсией (Д) в пределах каждого i-го участка по убывающей по заданному закону от участка к участку.

Таблица 2.1 - Характеристики экспериментальных солитонных ВОСП

λ, мкм	B, Гбит/с	L, км	Д, пс/нм×км	Число усилителей	τ,пс	Передача	B× L, Гбит/с×км	Лаборатория
1,55	40	65	-2,8	4	7,5	Одномодовый лазер, компрессор, внешний модулятор	2600	NTT
152	20	1020	-0,4	40	12	-//-	2×10^4	NTT
1,556	10	20 тыс.	-0,45	через 20 км	18	Волоконный эрбиевый лазер TiLinBO3	2×10^5	AT&T

2.3 Расчет регенерационного участка и сравнение солитонной системы с системами DWDM.

В дипломной работе произвел расчет регенерационного участка (Алматы-Талдыкурган) с применением систем DWDM, SDH и солитонновой системы.

Произвел сравнение и сделал выводы.

Общий план расположения трассы линии связи

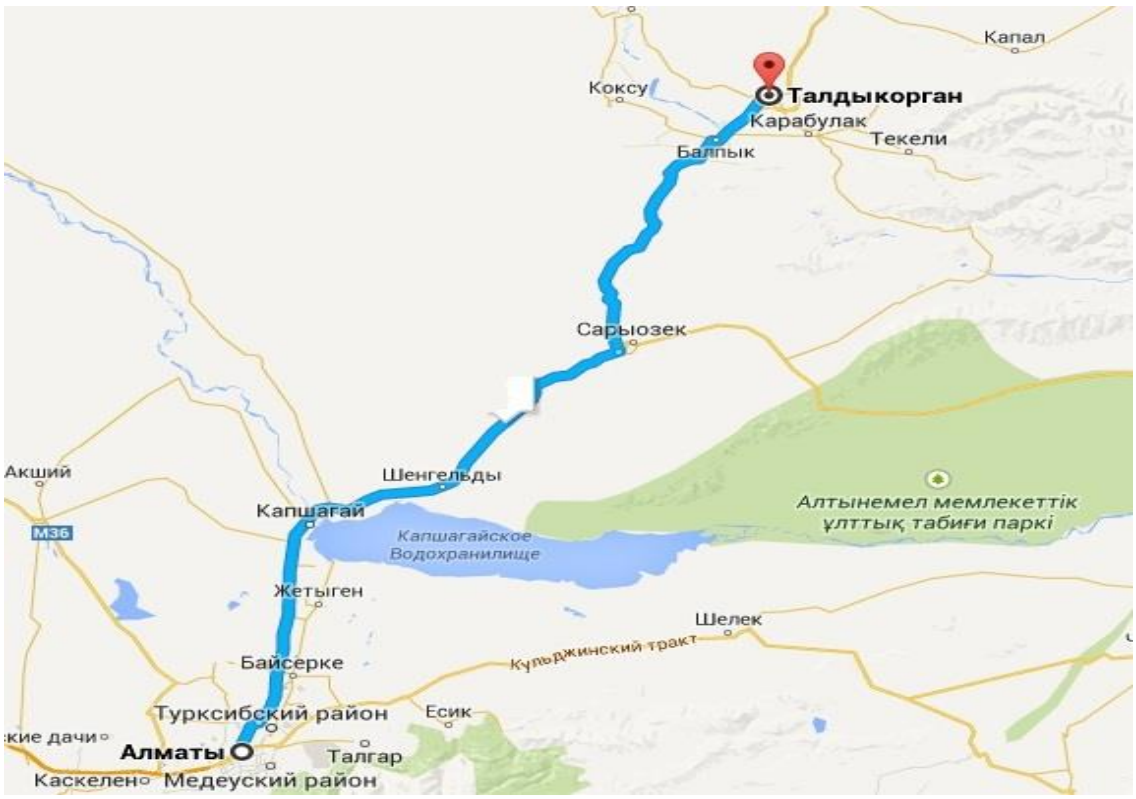


Рисунок 2.5 - Алматы – Талдыкурган, протяженность трассы 323 км.

Таблица 2.2 - Выбор волоконно-оптического кабеля.

Марка ОВ	Тип ОВ в условном обозн. ОК	Общая хар-ка ОВ	Область применения
Corning ® SMF-28e+™ (Рекомендация МСЭ-Т G.652)	10/125	Одномодовое ОВ с низким затуханием в пике воды, с увеличенной в два раза мощностью вводимого сигнала	Для городских, зоновых и магистральных сетей связи
Corning ® LEAF® (Рекомендация МСЭ-Т G.655	10/125нсдэ	Одномодовое ОВ с ненулевой смещенной дисперсией, с большей площадью для светового потока	Для магистральных сетей

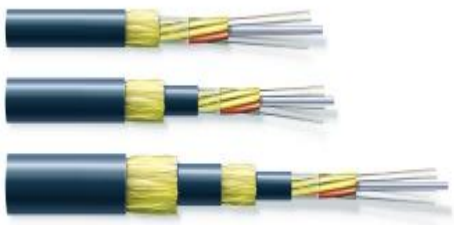


Рисунок 2.6 - Тип оптоволокна.

1)Оптические волокна
2)Центральный силовой элемент (ЦСЭ)
3)Поясная изоляция
4)Гидрофобный гель
5)1-я внутренняя оболочка
6)1-й повив силовых эл.
7)2-я внутренняя об.
8) 2-й повив силовых эл.
9) Наружная оболочка

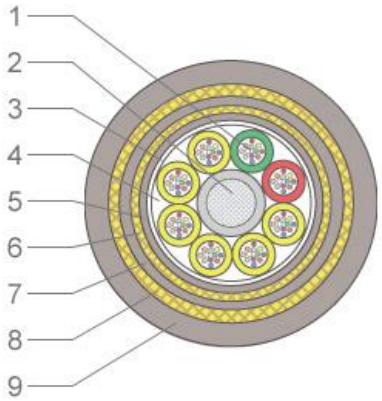


Рисунок 2.7 - Схема кабеля.

Таблица 2.3 - Параметры оптического кабеля (с применением солитонов).

Характеристика	Значения
Диаметр пятна модового поля (1550 нм)	10,5мкм±1,5мкм
Диаметр волокна с покрытием	125мкм±2мкм
Энергетический потенциал	38-40дБ
Дисперсия	0,11 пс
Показатель преломления сердцевины для (1550 нм)	1,4681
Критическая длина волны ВК	≤1250
Затухание при 1550 нм	≤0,15дБ/км
Дисперсия при 1550 нм (нм/км)	0,11÷0,15 пс

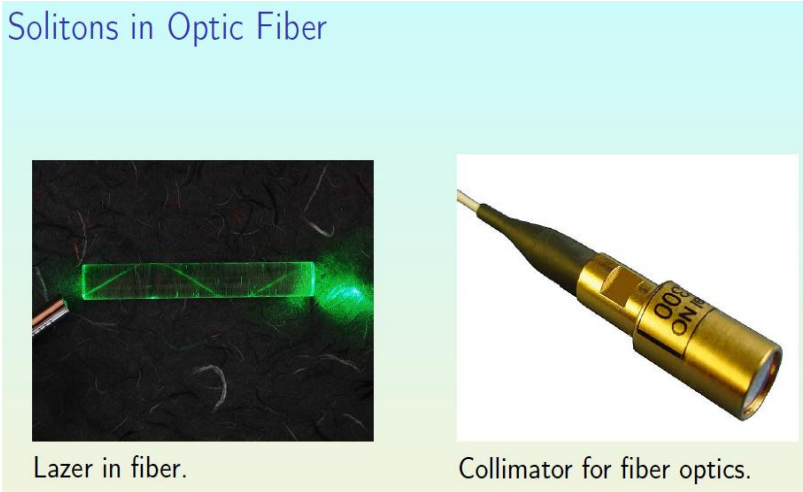


Рисунок 2.8 - Солитоны в оптоволокне.

Параметры оптического кабеля (DWDM)

Оптические и технические характеристики кабеля типа ОКЛС Corning® SMF-28e+™
(МСЭ-Т G.652) 10/125 приведены в таблицах:

Таблица 2.4 - Параметры оптического кабеля (DWDM)

Параметры	Значение
Число волокон	4-24
Диаметр приблизительно (мм)	14,4
Вес, приблизетельно (кг/км)	205
Мин. радиус изгиба	
Во время монтажа	300
В установленном виде	200
Прочность на растяжение	
Короткий срок (во время монтажа)	2400

Продолжение таблицы 2.4

Длительный срок (смонтированный)	1500
Напряжение при сжатии/ при раздавливающим напряжении (Н/10см)	4000
Сопротивление удару (E=3Nm,r=300mm) импульсы	50
Диапазон рабочей температуры (ОС)	-50...50
Диапазон температуры при монтаже (ОС)	-10...50

Таблица 2.5 - Характеристика оптического кабеля (DWDM)

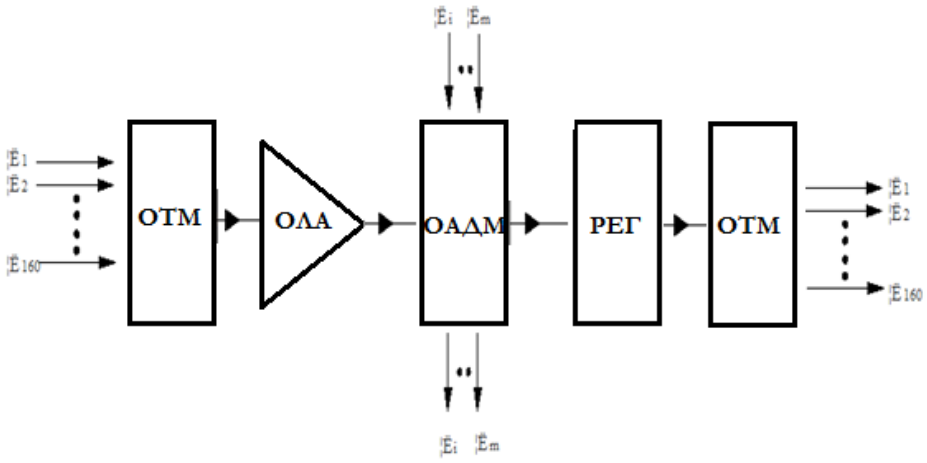
Характеристика	Значение
Диаметр пятна модового поля (1550 нм)	10,5мкм±1,5мкм
Диаметр волокна с покрытием	125мкм±2мкм
Погрешность концентричности пятна модового поля	≤1мкм
Показатель преломления сердцевины для (1550 нм)	1,4681
Некруглость покрытия	≤2%
Числовая аппертура	0,13
Критическая длина волны ВК	≤1250
Затухание при 1550 нм	≤0,22дБ/км
Дисперсия при 1550 нм	0,5÷1 пс/км

Характеристика применяемого оборудования.

Для проектируемой магистрали выбираем оптическую систему передачи DWDM - OptiX BWS 1600G компании Huawei Technologies.

Оптическая система передачи спектрального уплотнения DWDM-OptiX BWS 1600G поддерживает передачу по 160 длинам волн внутри одного оптического волокна, с максимальной скоростью передачи данных 1,6 Тбит/с. Каждый канал поддерживает скорость передачи до 10 Гбит/с. Максимальное значение пропускной способности одного оптического волокна достигает до 1600 Гбит/с.

Типичное построение сети показано на рисунке. Некоторые каналы услуг поступают на ОТМ, где их длины волн мультиплексируются и демультиплексируются, т.к. имеют различные значения. В качестве промежуточных пунктов может использоваться оптический усилитель ОЛА и регенератор РЕГ, которые используются для увеличения расстояния передачи. Для осуществления ввода/вывода каналов между двумя ОТМ,применяются модули оптического ввода/вывода.



ОТМ - оптический терминальный мультиплексор;
ОЛА - оптический линейный усилитель;
ОАДМ - оптический мультиплексор ввода/вывода; РЕГ- регенератор

Рисунок 2.9 - Типичное построение сети

Расчет длины регенерационного участка (солитоны)

Длину регенерационного участка, км, с учетом потерь мощности можно определить по формуле:

$$l_{\text{РУ}} \le \frac{Э_{\text{П}} - \alpha_{\Sigma}}{\alpha} \qquad (2.1)$$

где α - коэффициент затухания ОВ (0,15 дБ);

$Э_{\text{П}}$ – энергетический потенциал волоконно-оптической системы передачи (30 дБ);

$$l_{\text{РУ}} \le \frac{40 - 12{,}2}{0{,}15} = 185{,}3 км$$

На длину регенерационного участка накладывают ограничения дисперсионные характеристики волокна. С учетом дисперсии оптического волокна длина регенерационного участка составит:

$$l_{\text{РУ}_{\,мах}} = \frac{0{,}25}{\tau \cdot B} \qquad (2.2)$$

где В – требуемая скорость передачи информации (2488,380 бит/с);

τ – значение хроматической дисперсии одномодового оптического волокна (0,11 пс/км).

$$l_{\text{РУ}_{\,мах}} = \frac{0{,}25}{0{,}11 \cdot 10^{-12} \cdot 2488{,}380 \cdot 10^{6}} = 913{,}3 км$$

Таким образом, длина регенерационного участка, должна удовлетворять требованию:

$$l_{РУ max} \geq l_{РУ} \qquad (2.3)$$

Проверим соответствие полученной длины регенерационного участка данному выражению:

913,3 км > 185,3 км

Из выполненных расчетов видно, что $l_{РУ}$ = 185,3 км, а длина отдельных участков не превышает это значение. Значит на этих участках нет необходимости устанавливать оптические усилители.

Схема организации связи на проектируемом участке (солитоны).

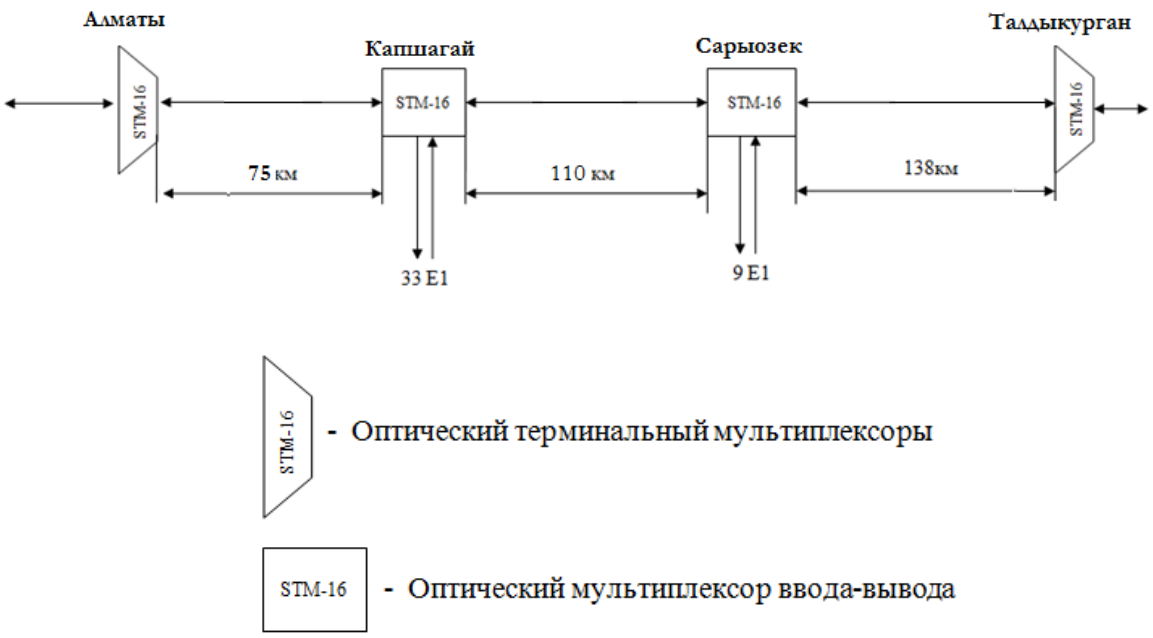


Рисунок 2.10 - Схема организации связи на проектируемом участке (солитоны).

Расчет длины регенерационного участка (DWDM)

Длину регенерационного участка, км, с учетом потерь мощности можно определить по формуле:

$$l_{РУ} \leq \frac{Э_П - \alpha_{\Sigma}}{\alpha} \qquad (2.4)$$

где α - коэффициент затухания ОВ (0,22 дБ);

$Э_П$ – энергетический потенциал волоконно-оптической системы передачи (30 дБ);

$$l_{\text{РУ}} \le \frac{30-12,2}{0,22} = 81км$$

На длину регенерационного участка накладывают ограничения дисперсионные характеристики волокна. С учетом дисперсии оптического волокна длина регенерационного участка составит:

$$l_{\text{РУ}_{мах}} = \frac{0,25}{\tau \cdot B} \qquad (2.5)$$

где B – требуемая скорость передачи информации (2488,380 бит/с);

τ – значение хроматической дисперсии одномодового оптического волокна (0,8 пс/км).

$$l_{\text{РУ}_{мах}} = \frac{0,25}{0,8 \cdot 10^{-12} \cdot 2488,380 \cdot 10^{6}} = 126км$$

Таким образом, длина регенерационного участка, должна удовлетворять требованию:

$$l_{\text{РУ}max} \ge l_{\text{РУ}} \qquad (2.6)$$

Проверим соответствие полученной длины регенерационного участка данному выражению:

126км > 81км

Из выполненных расчетов видно, что $l_{\text{РУ}}$ = 81 км, а длина отдельных участков превышает это значение. Значит на этих участках необходимо установить оптические усилители. Согласно требованиям, которые предъявляются к сети, оптический усилитель OLA используется для увеличения расстояния передачи оптических сигналов DWDM.

Схема организации связи на проектируемом участке (DWDM)

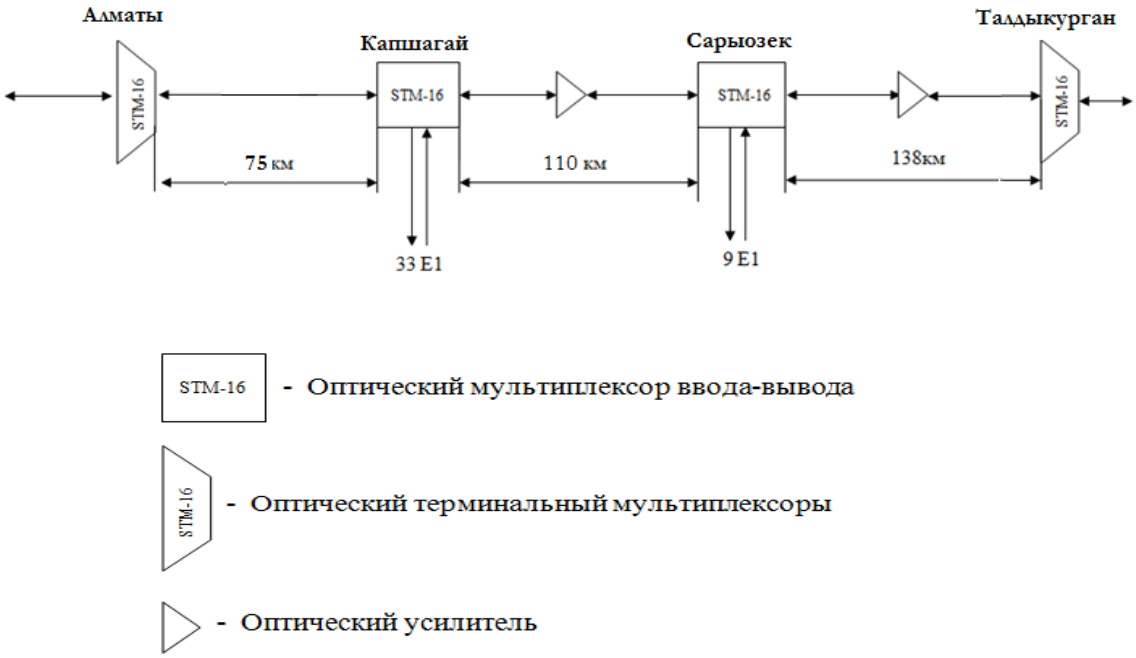


Рисунок 2.11 - Схема организации связи на проектируемом участке (DWDM)

3 Безопасность жизнедеятельности

В данной выпускной работе рассматривается волоконно-оптическая система передачи (ВОСП) с использованием солитонов, которая осуществляет передачу информации при помощи световых импульсов с длиной волны 1550 нм и 1310 нм. Все оборудование устанавливается в ЛАЦ.

3.1 Анализ условии труда в помещении ЛАЦ

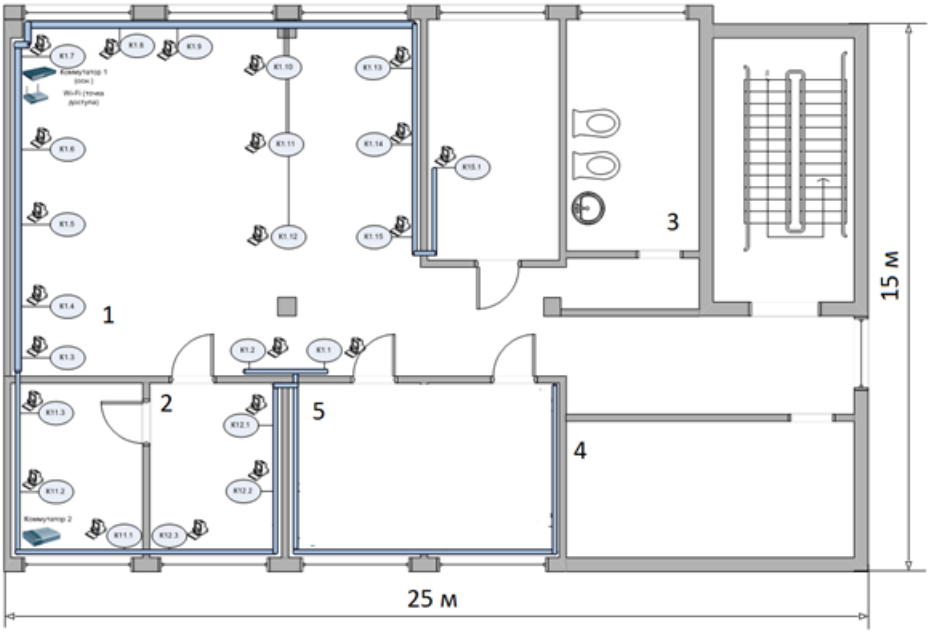
Линнейно аппаратный цех оборудован разнообразной апаратурой, обеспечивающей техническую реализацию сети. Обслуживающий персонал обеспечивает контролъ и непосредственное управление системой.

В процессе труда на инженера, оказывают действие такие опасные и вредные производственные факторы, как повышенный уровень электроммагнитного, рентгеновского, ультрафиолетового, инфракрасного излучения, недостаточной освещённости.

Для создания благоприятных условий труда важное значение имеет рационнальное освещение. Неудовлетворительное освещение затрудняет проведение работ, ведет к снижению производительности труда и может явится причиной несчастных случаев и заболеваний глаз.

Улучшение световых условий оказывает благоприятное общее психофизическое воздействие на работоспособность и активность человека. Гигиеническими приемлемыми являются яркость до 5000 пт. Поэтому применяют искусственное освещение для проведения работ в темное время суток и в местах без достаточного освещения.

Определим параметры помещения.
Общая длина помещения – 25 м
Общая ширина помещения – 15
Общая высота – 5.5 м
Линейно аппаратный цех: длина - 25, м
ширина - 6 м
высота – 5.5, м.



Обозначение:

1. Линейно-аппаратный цех – зал оснащенный оборудованием;
2. Рабочие офисы;
3. СУЗ – санитарно-уборная зона;
4. Раздевалка для рабочих;
5. Столовая.

Рисунок 3.1 - Рабочие помещение

3.1.1 Техническая характеристика оборудования

Передающим устройством в волоконно оптических системах является лазер, который выполняет работу в составе многоканальных систем связи. Лазер является основным передающим устройством, оно устанавливается в ЛАЦ.

Лазер – это источник электромагнитного излучения видимого, ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов, основанный на вынужденном изучении атомов и молекул. В данной выпускной работе применяются одномодовые лазеры с распределенной обратной связью. Данный лазер является источником узконаправленного монохроматического излучения в инфракрасной области спектра.

Рисунок 3.2 - Одночастотный волоконный эрбиевый лазер «Инверсион»

Таблица 3.1 - Технические характеристики оборудования:

Тип лазера	волоконный, с диодной накачкой
Длина волны основной гармоники	1310-1550,5 нм
Выходная мощность (версия с одной длиной волны)	120 мВт
Выходная мощность (версия с двумя длинами волн)	3 мВт / 0,15 мВт
Стабильность мощности	+/- 0.3%
Стабильность частоты излучения основной гармоники	+/- 0,5 МГц
Ширина спектра	< 100 кГц
Вывод излучения	Волоконный выход, FC
Срок службы лазера	10000 часов
Питание	110/220 Вт; 50-60 Гц; < 100 Вт
Температура рабочая	18° - 22° С
Долговечность активного элемента	10^6
Интервал рабочих температур	(0 - +70)° С
Габаритные размеры, мм	56x13,4x12,46
Потребляемая мощность, мВт	2

Данный прибор разработан с использованием технологии волоконных лазеров с распределенной обратной связью. Ширина спектра генерации составляет не более 100 кГц. Абсолютное значение частоты излучения лазера привязано к линии поглощения молекулярного газа в области 1,55 мкм . За счет этого достигнута долговременная стабильность частоты излучения не хуже 1 МГц. Лазер доступен в различных версиях - с генерацией только на основной частотой (1,55 мкм), либо с одновременной генерацией на основной частоте и на частоте второй гармоники (1,55 + 0,775 мкм).Так же для нормальной работы персонала нам требуется рассчитать естественное и искусственное освещение.

3.1.2 Организация освещения. Освещение в помещении комбинированное (естественное и искусственное)

Свет является одним из важнейших условий существования человека. Он вселяет в состояние организма, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и увеличивает работоспособность. При недостаточном освещение человек быстро ослабевает, повышает вероятность ошибочных действий, что приводит к травматизму, 5% травм являются причиной такого профессионального заболевания, как рабочая миопия (близорукость) [13]. Освещение рабочего помещения исполняет следующим условиям:

- освещенность рабочих поверхностей гармонировать гигиеническим нормам для данного вида работы;
- в поле зрения нет блеска источников света и других предметов; - Естественное освещение является боковым. Три окна размером 2х1,8 метра. Величина коэффициента естественной освещенности (к. е. о.) при работы средней зрительной точности не ниже 1,2%. Искусственное освещение выполняет в виде общей системы освещения с использованием люминесцентных источников света [13];
- Пульсация освещенности используемых люминесцентных ламп не увеличивает 10%. В качестве средств затемнения используются регулируемые жалюзи с белыми вертикальными шёлковыми ламелями. Окна размещены с одной стороны рабочих помещений. Выбор параметров освещения рабочего места зависит от характера производимой работы. Объект различия определяется наименьшим размером предмета (детали) или его части. В зависимости от размеров объекта различения и расстояния предмета от глаз работающего, все работы дифференцируются на восемь разрядов точности. Если расстояние от глаз до предмета меньше 0,5 м, разряд работы определяется размером объекта различия.

3.1.3 Нормирование параметров микроклимата

Организация кондиционирования воздуха. В офисном помещении размером 8х6х3 метра объемом 144 м^3 работает 4 человека. Т. о. в помещение

подается следующий объем наружного воздуха: при кубатуре помещения до 30 $м^3$ на одного работающего – не менее 20 $м^3$/ч на человека. Воздух, поступающий в офисное помещение, очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов.

Контроль состояния микроклимата в производственных помещениях позволяет поддерживать условия труда, близкие к оптимальным, что увеличивает производительность и комфортность труда, снижает заболевание работающих. Поскольку в офисе для сотрудников основной является работа за компьютером, то тяжесть работ, производимых в помещении можно отнести к средней. [12]

Таблица 3.2 – Нормы микроклимата производственных помещений при выполнении работ средней тяжести

Период Года	Температура С		Оптимальная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный период года	18-20	17-23	40-60	75	0,2	Не более 0,1
Теплый период года	21-23	18-27	40-60	65 при 26 С	0,3	0,2-0,4

Так как температура и оптимальная влажность в операторской не соответствует требованиями «Санитарных норм, микроклимата производственных помещений» [12], необходим расчет кондиционирования. Ниже приведён подробный расчёт системы обеспечения оптимального микроклимата с выбором конкретного оборудования.

3.1.4 Воздействие лазерного излучения на организм человека

Два биологического эффекта, при воздействии лазерного излучения на организм человека: первичный и вторичный.

а) наблюдаются изменения в непосредственно облучаемых тканях организма.

б) наблюдаются различные побочные явления.

Лазерное излучение любой длины волны причиняет непосредственное воздействие на человека, однако, со спектральными особенностями поражаемых органов и различными предельно допустимыми дозами облучения. Дифференцируют воздействие на глаза и кожные покровы. При достижении луча лазера в глаз лучи преломляются в оптической системе глаза и фокусируются на сетчатке, где будет сконцентрирована наибольшая энергия

луча. Главный элемент зрительного аппарата человека- сетчатка глаза – может быть повреждена лишь излучением видимого (от 0,4 мкм) и ближнего инфракрасного диапазонов (до 1,4 мкм), что определяется спектральными характеристиками человеческого глаза. При этом хрусталик и глазное яблоко, работая как дополнительная фокусирующая оптика, существенно увеличивает концентрацию энергии на сетчатке, что в свою очередь, на несколько порядков снижает максимально допустимый уровень облученности зрачка. При уровне энергии в 0,008 Дж. от лазера, занимающего в видимой части спектра, в течение 1мс портится сетчатка глаза, а для лазера работающего в инфракрасной части спектра, еще при меньшем уровне энергии (0,001 Дж) прюортится прозрачная среда и сетчатка глаза. Луч может проникать вдоль зрительной от глаза, тогда будет повреждена центральная ямка и будет сбойное нарушение зрения вплоть до слепоты.

Для лазеров, функционирующих в невидимой части спектра, необходимы особые меры безопасности, т.к. можно приоьрести дозу облучения, не зная причины ее возникновения. При лазерном облучении кожных покровов могут обнаружиться изменения непосредственно облучаемых тканей: от легкой эритемы до поверхностного обугливания. При повреждении внутренних тканей и органов случвются отеки, кровоизлияния, свертывание и распад крови. Влияние излучения лазера небольшой интенсивности на обслуживающий персонал изменяется в центральной нервной системе, сердечнососудистой системе, эндокринных желез; повышение утомляемости организма и глаз, колебания артериального давления, головные боли, повышенная возбудимость, нарушение сна, потливость.

3.1.5 Требования безопасности при эксплуатации и обслуживании лазерных изделий

Выполнение требований безопасности обеспечивает исключение или максимальное уменьшение возможности облучения персонала лазерным излучением, а так же воздействия на него других опасных факторов. К ремонту, наладке и испытаниям лазерных изделий допускаются лица, имеющие соответствующую квалификацию и прошедшие инструктаж по технике безопасности в установленном порядке.

К работе с лазерными изделиями допускаются лица достигшие 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие курс специального обучения в установленном порядке по работе с конкретными лазерными изделиями и аттестацию на группу по охране труда при работе на электроустановках с соответствующим напряжением. При эксплуатации изделий выше класса 2 должно назначаться лицо ответственное за охрану труда при эксплуатации. Лазерные изделия, находящиеся в эксплуатации, должны подвергаться регулярной профилактической проверке. При проведении профилактической проверки следует обращать особое внимание на безотказность работы всех защитных устройств.

3.2 Расчет

3.2.1 Излучения проводникового лазера

Произведем расчет предельно-допустимых уровней излучения полу - проводникового лазера.

Исходные данные:

- длина волны изучения – 1310/1550 нм;
- расстояние R от точки наблюдения до освещаемой поверхности – 0,5 м;
- угол θ между нормалью к поверхности и направлением наблюдения – 45°;
- фоновая освещенность Фр роговицы – 100 лк;
- диаметр d источника излучения – $0{,}02 \cdot 10^{-2}$ м.

Чтобы найти плотность энергии лазерного излучения, необходимо рассчитать угловой размер источника излучения по формуле (3.1):

$$d = \frac{d \cdot \cos\theta}{R}; \qquad (3.1)$$

$$d = \frac{0{,}02 \cdot 10^{2} \cdot \cos 45^{\circ}}{0{,}5} = 2{,}8 \cdot 10^{4}\ м.$$

Энергетическая экспозиция H_n для первичных биологических эффектов находится по формуле (3.2):

$$H_n = H_1 \cdot K_1; \qquad (3.2)$$

где H_1 – энергетическая экспозиция на уровне глаза в зависимости от углового размера источника излучения при максимальном значении диаметра зрачка глаза (H_1 =51 Дж/м²).

K_1 - поправочный коэффициент на длину волны излучения и диаметр зрачка (K_1=2,1).

$$H_n = 51 \cdot 2{,}1 = 107\ \frac{Дж}{м^2}.$$

Энергетическая экспозиция $H_в$ для вторичных биологических эффектов определяется по формуле (3.3):

$$H_в = 0{,}1 \cdot H_2 \cdot ф_р; \qquad (3.3)$$

где H_2 – энергетическая экспозиция на роговице глаза в зависимости от длины волны излучения и диаметра зрачка (H_2 = 680 Дж/м²).

$$Н_в = 0{,}1 \cdot 680 \cdot 100 = 6800 \frac{Дж}{м^2}.$$

Для определения класса опасности для полупроводникового лазера, необходимо рассчитать величину энергии излучения E_c с учетом поправочного коэффициента по формуле(3.4):

$$E_c = P \cdot K; \qquad (3.4)$$

P- максимальная выходная мощность излучения лазера ($P = 4 \cdot 10^{-3}$ Вт).

К – коэффициент учитывающий диаметр пучка (К = 0,25)

$$E_c = 4 \cdot 10^3 \cdot \ 0{,}25 = 1 \cdot 10^3 \text{ ВВт}$$

Произведем классификацию лазера.

Данный лазер по первичным биологическим эффектам относится ко II классу опасности, а по вторичным биологическим эффектам к Ш классу, с помощью найденных предельно допустимых уровней излучения, для различных типов лазерного излучения (прямого, отраженного), определим допустимые расстояния, на которых работает оператор. При этом специальная одежда оператора состоит из белого комбинезона.

Необходимые исходные данные:
- мощность излучения $P = 4 \cdot 10^{-3}$ Вт;
- телесный угол излучения $\varphi = 2°$;
- длительность смены $t_{см} = 3600$с;
- коэффициент отражения $\rho = 0{,}5$
- коэффициент пропускания белой плотной материи $\tau = 0{,}1$ при количестве слоев $m = 1$.

Допустимое расстояние, на котором находится оператор найдем по формуле (3.5):

$$r = \frac{P \cdot \rho \cdot t_{см}}{\sqrt{E_{обл}}}; \qquad (3.5)$$

где $E_{обл}$ – максимальная энергия облучения.

$$E_{обл} = \frac{E_{пду}}{\tau_м}; \qquad (3.6)$$

где, $$E_{пду} = H_п \quad (H_в) \qquad (3.7)$$

$$E_{обл} = \frac{H_п}{\tau_м}; \qquad (3.8)$$

$$E_{обл} = \frac{107}{0,1} = 1070 \frac{Дж}{м^2}.$$

$$r_1 = \frac{P \cdot \rho \cdot \tau_{см}}{E_{обл}}; \qquad (3.9)$$

$$r_1 = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 3600}{1070} = 0,067.$$

$$E_{облв} = \frac{H_В}{\tau_М}; \qquad (3.10)$$

$$E_{облв} = \frac{6800}{0,1} = 68000 \frac{Дж}{м^2}.$$

$$r_2 = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 3600}{68000} = 0,007. \qquad (3.11)$$

Лазеры данного типа используют в качестве среды распространения выходного излучения волоконно-оптический кабель, который плотно стыкуется с активной средой лазера. Поэтому поражение прямым излучением возможно только тогда, когда оператор направит включенный лазер непосредственно либо в глаз, либо на участок кожи [15].

Для того, чтобы предотвратить поражение персонала рассеянным или отраженным излучением лазера, активная среда помещена в защитный корпус. Внутренняя поверхность корпуса состоит из материала с высокой степенью поглощения на рабочей длине волны лазера. В случае неплотного контакта активной среды лазера с оптическим световодом, предусматривается изолирующий корпус с высокой степенью поглощения. Для предотвращения не квалифицированного доступа к лазеру, в аппаратуре предусмотрена блокирующая система. Эта система основана на обратной связи между передающими и приемными пунктами. В случае пропадания излучения на выходных цепях приемного пункта, в обратном направлении, т.е. от приемного пункта к передающему пункту, передается сигнал блокировки лазера передающей стороны.

3.2.2 Освещение линейно-аппаратного цеха

При размещении осветительных приборов в линейно-аппаратном цехе (ЛАЦ) должны быть учтены следующие основные условия: создание нормируемой освещенности наиболее экономичным путем (применение газоразрядных ламп), соблюдение требований к качеству освещения; безопасный и удобный доступ для обслуживания; наименьшая протяженность и удобство монтажа групповой сети; надежность крепления.

Рассчитаем общее освещение линейно-аппаратного цеха (ЛАЦ). Для ЛАЦ характерным является чистота помещения.

Длина линейно-аппаратного цеха - А=25 м, ширина - В=6 м, высота - h=5,5 м.

Необходимо определить:

– площадь световых проемов в помещении для обеспечения нормируемой освещенности (площадь остекления);

– число окон;

– размещение окон с целью равномерности естественного освещения.

1) Необходимая площадь окон, для создания нормируемой естественной освещенности в зале, определяется по формуле (3.12):

$$S_0 = \frac{S_n \cdot l_{min} \cdot \eta_0 \cdot k}{100 \cdot r_0 \cdot r_1}; \qquad (3.12)$$

где Sп - площадь пола в производственном помещении, $м^2$

Sп=Sпт(площадь потолка)=А $\cdot$ В=25 $\cdot$ 6=150 $м^2$

Sст(стены)=(А+В) $\cdot$ 2 $\cdot$ h= (25+6) $\cdot$ 2 $\cdot$ 5,5= 341 $м^2$

Lmin - минимальный коэффициент естественной освещенности

Lmin=3 - работа высокой точности (разряд работ - 3)

η_0 -коэффициент световой характеристики окна

r_0 – Коэффициент, светопропускания в помещении категории Б. Положение остекления - вертикальное, при деревянных и железобетонных одинарных переплетах. Освещение естественное, боковое, одностороннее.

r_0= 0,5

r_1 - коэффициент, учитывающий влияние отраженного света при боковом естественном освещении.

H_o для этого определим параметры окна h_1:

а)параметр окна - h_1, м

h_1 - возвышение верхнего края окна над горизонтальной рабочей поверхностью, м;

$$h_1 = h_0 + h - h_{раб.} \qquad (3.13)$$

h_0 = 3,5 м - высота окна, h`=1,0 м - расстояние от пола до подоконника, $h_{раб}$=1,5 м - высота рабочей поверхности над уровнем пола.

h_1 = 3,5 + 1,0 - 1,5 = 3 м

б) отношение длины помещения А, м, к ширине В, м:

А/В=25/6=3,9

в) отношение ширины помещения В, м, к параметру окна h_1, м:

В/h1=6/3=2

По полученным значениям (а, б, в) находим значение η_0

η_0=28

При этом r_1 зависит от средневзвешенного коэффициента отражения света от ограждающих поверхностей помещения ρср. Этот коэффициент находится из соотношения (3.14):

$$\rho_{ст} = \frac{\rho_п \cdot S_п + \rho_{ст} \cdot S_{ст} + \rho_{пт} \cdot S_{пт}}{S_п + S_{ст} + S_{пт}}; \qquad (3.14)$$

$S_п$, $S_{ст}$, $S_{пт}$ - были найдены выше, а $\rho_п$, $\rho_{ст}$, $\rho_{пт}$ - соответственно коэффициенты отражения от пола, стены и потолка

$$\rho_п = 0{,}3\ ,\ \rho_{ст} = 0{,}3\ ,\ \rho_{пт} = 0{,}7$$

$$\rho ср = (0{,}3 \cdot 150 + 0{,}3 \cdot 341 + 0{,}7 \cdot 150) / (2 \cdot 150 + 341) \approx 0{,}4$$

r_1 = 4

Площадь окон, необходимая для создания нормируемой естественной освещенности в зале равна:

$$S_0 = (150 \cdot 2 \cdot 28 \cdot 1{,}7) / (100 \cdot 4) = 35\ м^2$$

2) Зная площадь одного окна S = $h_0 \cdot b_0$ = 3,5 · 2,0 = 7,0 $м^2$, находим количество окон, необходимое для соблюдения нормируемой естественной освещенности в машинном зале: n = S_0 / S = 35 / 7 = 5 окон;

где b_0 = 2,0 м - ширина окна , n=5 окон

3) В боковой стене, по длине помещения, размещения n окон, с межоконным промежутком b;

$$b = \frac{A - n - b_0}{n + 1}; \qquad (3.15)$$

$$b` = \frac{(15 - 7 \cdot 2)}{(7 + 1)} = 0{,}125\ м$$

3.2.3 Искусственное освещение

Расчет производится в основном по двум методам: метод коэффициента использования и точечный метод. Метод коэффициента использования предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов.

По точечному методу рассчитывается общее локализованное освещение, общее равномерное освещение при наличии существенных затенений и местное освещение[14].

Метод коэффициента использования

Исходные данные.

Зал имеет: длину А = 25 м, ширину В = 6 м, высоту Н = 5.5 м. Потолок свежепобеленный, светлые стены с не завешанными окнами. Разряд зрительной работы – V. Нормируемая освещенность по таблице 1.2. равна 300 лк. Принимаем систему общего освещения люминесцентные лампы ЛБ мощностью 40 Вт, световой поток $Ф_л$ = 3120 лм. Коэффициенты отражения потолка, стен, пола

$\rho_{по}$ = 70 % $\rho_{стен}$ = 50 % $\rho_{пола}$ = 30 %

Расчетная высота подвеса – рабочая поверхность находится на высоте 1м от пола, высота свеса ламп 0.3 м, следовательно,

H = 5.5-(1 + 0,3) = 3,7 м.

Наивыгоднейшее расстояние между светильниками определяется как:

$$Z = \lambda \cdot h, \text{ м} \qquad (3.16)$$

где λ - коэффициент наивыгоднейшего расстояния между светильниками, λ=0.6 м.

$$Z = 0{,}6 \cdot 3{,}7 = 2{,}2 \text{ м}$$

Принимаем 6 рядов светильников с расстоянием от стен по 2м, между рядами по 2.5м.

Определяем индекс помещения по формуле(3.17):

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}; \qquad (3.17)$$

Коэффициент использования равно

$$\eta = 73\ \%$$

$$i = \frac{25 \cdot 6}{3{,}7 \cdot (25 + 6)} = 1{,}38.$$

Коэффициент запаса

$К_З = 1,2$

Подставляя в формулу эти значения, определяем количество люминесцентных ламп по формуле (3.18):

$$N = \frac{E + K_з + S \cdot Z}{N + Ф_п \cdot \eta}; \qquad (3.18)$$

где E – заданная минимальная освещенность;

$К_З$ –коэффициент запаса;

S – освещаемая площадь;

Z – коэффициент неравномерности освещения, Z = 1,1-1,2;

n – число светильников (намеченное до расчета).

$$N = \frac{300 + 1,2 + 60 \cdot 1,2}{3120 \cdot 0,73} = 12$$

Размещаем в четыре ряда по три лампы с расстоянием между ними 0.8 м (учитывая, что длина лампы 12136мм (рисунок 3.3).

Всего для создания нормируемой освещенности 300 лк необходимо 12 ламп ЛБ мощностью 40 Вт.

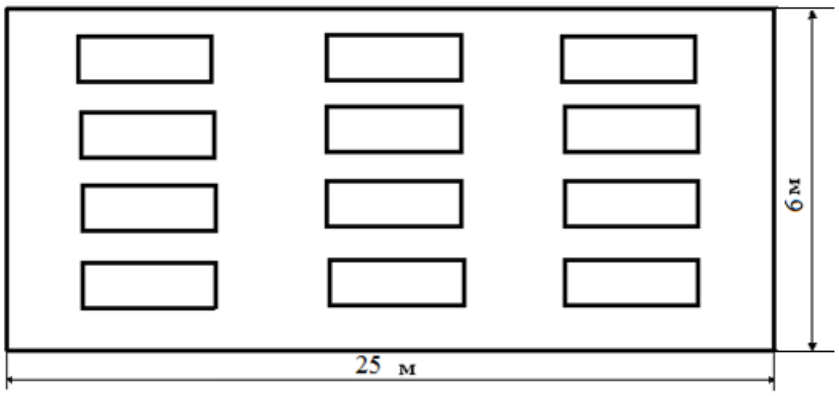


Рисунок 3.3 – Размещение лампы в ЛАЦ

Так как в дипломной работе рассматривается волоконно-оптические системы передачи с использованием солитоной системы. Передающим устройством является лазер. Для того, чтобы не случилось поражение обслуживающего персонала в аппаратуре используется изолирующий корпус и блокирующая система. Также функции защиты от возможного вредного воздействия. Для обеспечения нормируемой освещенности 300 лк, были выбраны оптимальные лампы мощностью 40 Вт.

4 Бизнес - план

4.1 Характеристика проекта

В современных условиях растет спрос на продукцию телекоммуникации и как следствие, резко возрастает объем трафика на сети. Это касается в первую очередь магистральной сети Республики Казахстан, одним из сегментов которой является участок Алматы -Талдыкурган , проходящей через населенные пункты Капчагай, Шенгельды, Сарыозек, Карабулак.

В настоящее время появилась необходимость увеличить число каналов на магистрали, что обеспечит увеличение объема предоставляемых услуг потребителям, которое даст большую прибыль. Также внедрение новых технологий в области телекоммуникации всегда нуждается в экономичности и выгоде. Целью дипломного проекта является анализ использования солитонов для увеличения пропускной способности оптической системы связи. Проектирование магистрали с использованием солитонов , которые позволяют передать данные на дальние расстояние без компенсаторов и оптических усилителей. позволит на многие годы вперед увеличение пропускной способности участка, что даст возможность предоставлять в аренду операторам связи большее число каналов и получать максимально возможную прибыль. В конечном счете это увеличит емкость сети за счет внедрения новой цифровой технологии.

Решением проблемы вывода ее технического оснащения на международный уровень является использование новых технологий передачи: волоконно-оптической солитоновой системы с применением современного оборудования системы DWDM, отвечающего мировым стандартам. Это дает ряд преимуществ, обусловленных такими характеристиками как:

- большая пропускная способность;
- большая длина регенерационных участков (примерно до 4-5 тыс. км.);
- малое затухание;
- большая помехозащищенность;
- малые массы и габаритные размеры.

Данное оборудование будет обеспечивать высокое качество передачи информации с большой скоростью. Для переоборудования магистрали необходимо только обеспечить ее новым оборудованием системы передачи и измерительными приборами для поддержания магистрали в рабочем режиме. Используется уже существующий оптический кабель, находящийся в хорошем

состоянии. Следовательно, работ по прокладке оптического кабеля не требуется.

В работе было проведено сравнение между системами DWDM и солитоновой связи. На примере сравнения ясно выражена экономия на оборудование солитоновой системы.

4.2 Организационный план

Таблица 4.1 - Перечень оборудования.

Наименование оборудования	Число единиц, шт
Станционные сооружения:	
Мультиплексоры ввода/вывода OADM	2
Оптические усилители EDFA	0
Сервер системы управления и программное обеспечение	1
Измерительные приборы:	
Анализатор спектра CMA 4792	1
Тестер цифровой Sun Set E 20	1
Анализатор ПМД EXFO FTB-5500	1
Рефлектометр EXFO FTB-100	1
Кабель оптический, одномодовый	323км

4.3 Производственный план

Сроки монтажа и настройки нового оборудования. Начало - 01.08.2014 г. Окончание - 04.12.2014 г.

Осуществление проекта на территории РК возложено на АО «Казахтелеком», являющимся главным оператором по строительству и обслуживанию магистральной транспортной сети Республики, которая также является ведущим оператором в своем регионе.

Предоставление каналов в аренду можно начать с 06.12.2014 г.

АО «Казахтелеком» заключает контракт с компанией поставщиком оборудования на строительство, монтаж и наладку оборудования солитоновой системы передачи. В контракте фирма обязуется поставить необходимое измерительное и ремонтное оборудование, обеспечивать сервисное обслуживание, а также окончить строительство в установленные сроки со сдачей в эксплуатацию.

4.4 Финансовый план

Сумма затрат для введения в эксплуатацию проектируемой ВОСП приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Капитальные затраты (солитоны) [16]

Наименование затрат	Количество, штук	Норматив инвестиций, тыс. тг.	Общая сумма, тыс. тг
Станционные сооружения:			
Мультиплексор (с питанием и программным обеспечением)	2	3528	7056
Оптический усилитель	0	0	0
Сервер системы управления и програм- мное обеспечение TNMS	1	3961	3961
Измерительные приборы:			
Анализатор спектра CMA 4692	1	9619	9619
Рефлектометр EXFO FTB-102	1	10268	10268
Анализатор ПМД EXFO FTB-100	1	12631	12631
Тестер цифровой Sun Set E 21	1	669	669
Кабель оптический, одномодовый	323км	88,5	28585
Прочие расходы:			
Расходный материал и инструменты для монтажно-настроечных работ в ОРП и ОП	4	30	120
Затраты на монтаж и наладку оборудования	3	10	30
Подготовительные и изыскательные работы	3	5	15
Затраты на обучение обслуживающего персонала	2	300	600
Затраты на рекламную кампанию	-	-	500
Итого:	-	-	74054

Взять в кредит потребуется 74,054 млн. тг. под 12 % годовых [17]. Срок погашения кредита - 2 года.

4.5 Маркетинговый план

В дипломном проекте выполнил сравнение между системой DWDM и солитоновой системой. В маркетинговом разделе был рассмотрен рынок и выделены основные экономические преимущества солитоновой системы.

Сравнение экономических параметров DWDM и солитонов:

Таблица 4.3 - Состав необходимого оборудования для DWDM.

Наименование оборудования	Число единиц, шт
Станционные сооружения	
Мультиплексоры ввода/вывода OADM	2
Оптические усилители EDFA	2
Сервер системы управления и программное обеспечение	1
Измерительные приборы	
Анализатор спектра CMA 4792	2
Тестер цифровой Sun Set E 20	2
Анализатор ПМД EXFO FTB-5500	2
Рефлектометр EXFO FTB-100	2
Кабель оптический, одномодовый	323км

Таблица 4.4 - Состав необходимого оборудования для солитонов.

Наименование оборудования	Число единиц, шт
Станционные сооружения	
Мультиплексоры ввода/вывода OADM	2
Оптические усилители EDFA	0
Сервер системы управления и программное обеспечение	1
Измерительные приборы	
Анализатор спектра CMA 4792	1
Тестер цифровой Sun Set E 20	1
Анализатор ПМД EXFO FTB-5500	1
Рефлектометр EXFO FTB-100	1
Кабель оптический, одномодовый	323км

Сравнивая 2 таблицы по оборудованию, видно что солитоны, за счет своего большого регенерационного участка, выигрывают на экономии оборудования. На участке Алматы - Талдыкурган с применением солитонов не требуются оптические усилители.

Таблица 4.5 - Капитальные затраты (солитоны) [16]

Наименование затрат	Количество, штук	Норматив инвестиций, тыс. тг.	Общая сумма, тыс. тг
Станционные сооружения			
Мультиплексор (с питанием и программным обеспечением)	2	3528	7056
Оптический усилитель	0	0	0

Продолжение таблицы 4.5

Сервер системы управления и програм- мное обеспечение TNMS	1	3961	3961
Измерительные приборы			
Анализатор спектра CMA 4692	1	9619	9619
Рефлектометр EXFO FTB-102	1	10268	10268
Анализатор ПМД EXFO FTB-100	1	12631	12631
Тестер цифровой Sun Set E 21	1	669	669
Кабель оптический, одномодовый	323км	88,5	28585
Прочие расходы			
Расходный материал и инструменты для монтажно-настроечных работ в ОРП и ОП	4	30	120
Затраты на монтаж и наладку оборудования	3	10	30
Подготовительные и изыскательные работы	3	5	15
Затраты на обучение обслуживающего персонала	2	300	600
Затраты на рекламную кампанию	-	-	500
Итого:	-	-	74054

Таблица 4.6 - Капитальные затраты (DWDM) [16]

Наименование затрат	Количество, штук	Норматив инвестиций, тыс. тг.	Общая сумма, тыс. тг
Станционные сооружения			
Мультиплексор (с питанием и программным обеспечением)	2	3528	7056
Оптический усилитель	2	618	1236
Сервер системы управления и програм- мное обеспечение TNMS	1	3961	3961

Измерительные приборы			
Анализатор спектра CMA 4692	2	9619	9619
Рефлектометр EXFO FTB-102	2	10268	20536
Анализатор ПМД EXFO FTB-100	2	12631	24722
Тестер цифровой Sun Set E 21	2	669	1338
Кабель оптический, одномодовый	323км	88,5	28585
Прочие расходы:			

Продолжение таблицы 4.6

Расходный материал и инструменты для монтажно-настроечных работ в ОРП и ОП	4	30	120
Затраты на монтаж и наладку оборудования	4	10	40
Подготовительные и изыскательные работы	4	5	20
Затраты на обучение обслуживающего персонала	3	300	900
Затраты на рекламную кампанию	-	-	500
Итого:	-	-	98633

1) Капитальные затраты DWDM - 98,633 млн. тг.

2) Капитальные затраты Солитонов - 74,054 млн. тг.

Экономия капитальных затрат солитоновой системы составляет - 24,579 млн. тг.

4.6 Годовые эксплуатационные расходы

Расчет штата работников

Чтобы определить общий штат по обслуживанию участка магистрали $P_{общ.}$, необходимо рассчитать штат по обслуживанию линейно-аппаратного цеха (ЛАЦ). Данные для расчета берутся по «Нормативам трудоемкости и численности эксплуатационной деятельности предприятий, 2 этап, укрупненные нормативы численности работников вновь вводимых предприятий и сооружений».

Рассчитаем штат ЛАЦ ОРП и ЛАЦ ОП. На магистрали имеется 2 ОРП и 2 ОП. Для обслуживания данной аппаратуры по нормативам расчета штата ОРП и ОП необходим магистральный инженер и 2 сменных электромеханика:

$$P_{общ.} = (1+2)\cdot(2+2) = 12 \text{ человек}$$

Расходы на эксплуатацию ВОСП

Средняя заработная плата одного служащего составляет 60 тыс. тг.[15] На срок монтажа и настройки оборудования принимают в штат 3 человек (на срок 4 месяца).

Заработная плата за этот срок:

$$ЗП_1 = 3 \cdot 4 \cdot 60 = 720 \text{ тыс. тг.}$$

Годовой фонд оплаты труда по штатам ОРП и ОП:

$$ЗП_2 = 12 \cdot 12 \cdot 60 = 8{,}640 \text{ млн. тг.}$$

Дополнительная заработная плата (30 % фонда оплаты труда):

$$ЗП_{доп} = 0{,}3 \cdot ЗП_2, \quad (4.1)$$

$$ЗП_{доп} = 0{,}3 \cdot 8{,}640 = 2{,}592 \text{ млн. тг.}$$

Расходы по заработанной плате (фонд оплаты труда) определяются по формуле:

$$ФОТ = ЗП_1 + ЗП_2 + ЗП_{доп}, \quad (4.2)$$

$$ФОТ = 0{,}720 + 8{,}640 + 2{,}592 = 11{,}952 \text{ млн. тг.}$$

Социальный налог составляет 11 % от ФОТ, после отчисления 10 % от ФОТ в пенсионный фонд:

$$С_н = 0{,}11 \cdot (ФОТ - 0{,}1 \cdot ФОТ), \quad (4.3)$$

$$С_н = 0{,}11 \cdot (11{,}95 - 0{,}1 \cdot 11{,}95) = 1{,}183 \text{ млн. тг.}$$

Амортизационные отчисления для отрасли связи составляют 25 % в год от суммы капитальных затрат:

$$А = 0{,}25 \cdot К; \quad (4.4)$$

где К - сумма капитальных затрат, 74,054 млн. тг.

$$А = 0{,}25 \cdot 74{,}054 = 18{,}5 \text{ млн. тг.}$$

Расходы на материалы и запасные части составляют 0,5 % в год от суммы капитальных затрат:

$$Р_м = 0,005 \cdot К, \quad (4.5)$$

$$Р_м = 0,005 \cdot 74,054 = 370 \text{ тыс. тг.}$$

Расходы на электроэнергию:

$$Р_{эл} = 8760 \cdot Ц_{кВт} \cdot (W_1 \cdot N_1 + W_2 \cdot N_2), \quad (4.6)$$

где W_1 - мощность, потребляемая мультиплексором, 0,1 кВт/ч;

W_2- мощность, потребляемая оптическим усилителем, 0,025 кВт/ч;

$Ц_{кВт}$ - цена одного киловатта электроэнергии, договорная, составляющая на данный момент:

- Ночью (с 23:00 до 7:00) — 3,44 тг за кВт/ч;
- Днем (с 7:00 до 19:00) — 10,11 тг за кВт/ч;
- Вечером (с 19:00 до 23:00) — 25,23 тг за кВт/ч;

N_1 - количество мультиплексоров, 2;
N_2 - количество оптических усилителей, 0;
8760 - количество часов в году.

$Р_{эл}$ = (2920·3,44+ 4380·10,11+ 1460·25,23)·(0,1·2+0,025·0)= 18232 тг. = 18,232 тыс. тг.

Наклдные расходы составляют 70 % от основных расходов:

$$Р_{накл} = 0,7 \cdot Р_{осн}, \quad (4.7)$$

Накладные расходы определяются по формуле:

$$Р_{накл.} = 0,7 \cdot (ФОТ + С_н + А + Р_м + Р_{эл}), \quad (4.8)$$

$$Р_{осн.} = 11,952 + 1,183 + 18,5 + 0,370 + 0,01832 =$$

$$=32,023 \text{ млн. тг.}$$

$$Р_{накл} = 0,7 \cdot 32,023 = 22,441 \text{ млн. тг.}$$

Годовые эксплуатационные расходы:

$$Э_{год} = Р_{накл.} + К_{пр} + А + Р_{эл} + Р_м + ФОТ + С_н, \quad (4.9)$$

где $К_{пр}$ - сумма кредитных процентов.

$$К_{пр} = К \cdot 0,12 = 74,054 \cdot 0,12 = 8,88 \text{ млн. тг.}$$

$Р_{год}$ = 22,441 + 8,88 + 18,5 + 0,370 + 0,01823 +11,952+1,182 = 63,343 млн. тг.

Расчеты эксплуатационных расходов сведем в таблицу 4.7.

Таблица 4.7- Эксплуатационные расходы

Статьи затрат	Сумма затрат, млн. тг.
Фонд оплаты труда	11,952
Социальный налог	1,182
Амортизационные отчисления	18,5
Расходы на материалы и запасные части	0,370
Расходы на электроэнергию	0,018232
Кредитные выплаты	8,88
Накладные расходы	22,441
Итого:	65,343

4.7 Доходы и экономическая эффективность

Годовая сумма доходов:

$$Д = Q \cdot Ц_{ак} \cdot k, \quad (4.10)$$

где Q- число сдаваемых в аренду каналов, 270;

$Ц_{ак}$ - цена аренды одного цифрового канала, 150 тыс. тг/мес (без НДС) [16] ;

k - количество часов в году на сдачу каналов в аренду.

В году 12 месяцев, но при сдаче каналов в аренду, они используются на 30 % времени в год.

Определим доход от аренды каналов в год:

$$Д = 270 \cdot 150000 \cdot 12 \cdot 0,30 = 145,800 \text{ млн. тг.}$$

Чистый доход от хозяйственной деятельности определяется по формуле:

$$ЧД = Д - Э_{год}, \quad (4.11)$$

$$ЧД = 145,800 – 65,343 = 82,456 \text{ млн. тг.}$$

Налог с прибыли (20 % в бюджет) рассчитаем по формуле:

$$Н_п = 0,2 \cdot ЧД, \quad (4.12)$$

$$Н_п = 0,2 \cdot 82,456 = 16,5 \text{ млн. тг.}$$

Чистая прибыль предприятия:

$$ЧП = ЧД - Н_п , \quad (4.13)$$

$$ЧП = 82,456 – 16,5 = 65,9 \text{ млн. тг.}$$

Коэффициент общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений:

$$Е = ЧП/К, \quad (4.14)$$

$$Е = 65,9/74,054 = 0,89$$

Период окупаемости для проекта:

$$Т = К/ЧП = 1/Е, \quad (4.15)$$

$$Т = 1/0,89 = 1,1 \text{ года}$$

Экономические показатели проекта приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Экономические показатели проекта до дисконтирования

Наименование показателя	Величина
Капитальные затраты, млн. тг.	74,054
Срок кредитования, лет	2
Штат, человек	12
Эксплуатационные расходы, млн. тг.	65,343
Годовая сумма доходов, млн. тг.	145,800
Чистый доход, млн. тг.	82,456
Чистая прибыль, млн. тг.	65,9
Коэффициент экономической эффективности	0,89
Срок окупаемости, лет	1,1

4.8 Расчет показателей эффективности инвестиций

При анализе инвестиционных проектов используются следующие показатели эффективности инвестиций:

- чистая текущая стоимость проекта (NPV);
- внутренняя норма рентабельности (IRR);
- дисконтированный период окупаемости (DPP).

4.8.1 Чистая текущая стоимость проекта (net present value, NPV)

NPV - это разность между текущей стоимостью денежных поступлений по проекту или инвестиций и текущей стоимостью денежных выплат на получение инвестиций, либо на финансирование проекта, рассчитанная по фиксированной ставке дисконтирования. Значение NPV можно представить как результат, получаемый немедленно после принятия решения об осуществлении данного проекта, так как при расчете NPV исключается воздействие фактора времени, то есть если значение показателя:

- NPV > 0 – проект принесет прибыль инвесторам;
- NPV = 0 – увеличение объемов производства не повлияет на получение прибыли инвесторами;
- NPV < 0 – проект принесет убытки инвесторам.

NPV рассчитывается по формуле:

$$NPV = \sum_i \frac{PVi}{(1+E)^i} - Io; \qquad (4.16)$$

где PVi – современная стоимость денежного потока на протяжении экономической жизни проекта –65,9 млн.тг.;

E – норма дисконта, равная 20%;

Io – сумма первоначальных затрат, т.е. сумма инвестиций на начало проекта – 74,054 млн.тг.;

i – количество периодов - 2.

$$NPV = \frac{65,9}{(1+0,2)^1} + \frac{65,9}{(1+0,2)^2} - 74,054 = 26,62 \text{ млн}$$

4.8.2 Внутренняя норма рентабельности (IRR)

IRR или внутренняя норма прибыли рассчитывается на базе показателя NPV: NPV проекта равен нулю: IRR = E, при котором NPV = 0, данный коэффициент показывает максимальную стоимость инвестиций, указывает на максимально допустимый относительный уровень расходов, которые могут быть ассоциированы с данным проектом.

Именно с ним сравнивается показатель IRR, рассчитанный для конкретного проекта, при этом связь между ними такова:

- если IRR > Io, то проект следует принять;
- если IRR < Io, то проект следует отвергнуть;
- если IRR = Io, то проект ни прибыльный, ни убыточный.

$$IRR = \sum_i \frac{PVi}{(1+E)^i} - Io = 0; \qquad (4.17)$$

$$IRR = 20 + \frac{(47-20)\cdot 26,62}{26,62-(-0,417)} = 46,583\%$$

4.8.3 Дисконтированный период окупаемости (DPP)

DPP является одним из наиболее распространенных и понятных показателей оценки эффективности инвестиционного проекта.

Дисконтирование, по сути, характеризует изменение покупательной способности денег, то есть их стоимости, с течением времени. На его основе производят сопоставление текущих цен и цен будущих лет.

Рассматривая механизм формирования показателя периода окупаемости, следует обратить внимание на ряд его особенностей, снижающих потенциал его использования в системе оценки эффективности инвестиционных проектов.

Дисконтированный период окупаемости определяется по формуле:

$$DPP = t, \text{ при котором } Pt > I; \qquad (4.18)$$

где Pt – чистый денежный поток доходов.

Коэффициент дисконтирования или барьерная ставка это показатель, используемый для приведения величины денежного потока в n-периоде оценки эффективности инвестиционного проекта, другими словами ставка дисконтирования это процентная ставка, используемая для перерасчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости.

Дисконтированный период окупаемости для проекта:

$$T = 1 + \frac{74{,}054 - 54{,}9}{45{,}76} = 1{,}4 \text{ года (1 г., 6 мес.)}$$

Диаграмма экономических показателей приведена на рисунке 4.1.

Таблица 4.9 - Экономические показатели проекта после дисконтирования

Наименование показателя	Величина
Капитальные затраты, млн.тг	74,054
Срок кредитования, г.	2
Штат, чел.	12
Эксплуатационные расходы, млн.тг	65,343
Годовая сумма доходов, млн.тг	145,800
Чистая прибыль, млн.тг.	65,9
Срок окупаемости, г.	1,6

4.9 Оценка результата

В первый период эксплуатации модернизированного участка возможны некоторые риски предприятия при ухудшении экономической ситуации в

Республике Казахстан, недобросовестности и низкой квалификации работников, при резком ухудшении технического состояния ВОЛС или качества передачи.

капитальные затраты	Эксплуатационные затраты	чистая прибыль
74,054	65,343	65,9

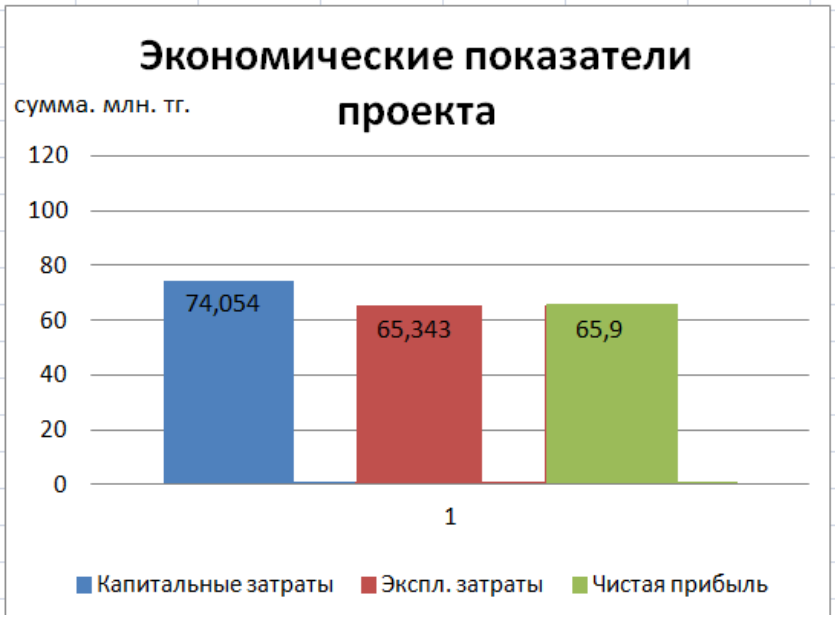


Рисунок 4.1- Диаграмма экономических показателей проекта

Это возможно также:
- при неоплате аренды каналов со стороны арендаторов;
- при неустойчивом спросе на предоставляемые услуги связи;
- при банкротстве банков, осуществляющих денежные переводы.

В заключение можно отметить, что несмотря на возможные риски предприятия, расчетный срок окупаемости данного проекта составляет 1,5 года, что не превышает нормативных показателей.

Данные показатели говорят, что проектирование магистрали с применением оборудования для солитонов экономически выгодна.

Заключение

В данном дипломном проекте была рассмотрена тема: «Использование солитонов для увеличения пропускной способности передачи данных».

Развитие современных телекоммуникационных сетей неизменно идет по пути увеличения их информационной емкости, определяемой произведением скорости на дальность передачи информации. Постоянно возрастающая потребность в увеличении скорости передачи данных приводит к появлению и становлению новых волоконно-оптических технологий, позволяющих передавать сигналы с более высокой скоростью на большие расстояния. Использование метода временного мультиплексирования из-за технологических ограничений не является универсальным решением проблемы увеличения пропускной способности магистральных волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). Поиск путей преодоления этих ограничений идет по двум направлениям.

Первое связано с применением технологии спектрального разделения оптических каналов, второе — с практическим воплощением идеи дальнейшего увеличения скорости передачи в оптическом канале за счет использования солитонных импульсов. В настоящее время ВОСП со спектральным разделением оптических каналов получили широкое распространение во многих странах, включая Казахстан. Но как уже было сказано, перспективность солитонных систем и их преимущество перед обычными методами оптической передачи выигрывает по многим параметрам:

- Повышение скорости передачи данных;
- Увеличения длины регенерационного участка;
- Сохранение формы сигнала на расстоянии до 5-6 тысяч км;
- Экономия на оборудовании, минимальное использование оптических усилителей.

Быстрое развитие телекоммуникационных систем всегда за собой несет инновации и улучшение качества сети. Солитоны являются одними из таких нововведений в области телекоммуникаций и притягивает свой взор все больше и больше.

В разделе безопасности жизнедеятельности был проведен анализ помещения, расчет системы искусственного и естественного освещения, пожарной безопасности и системы кондиционирования.

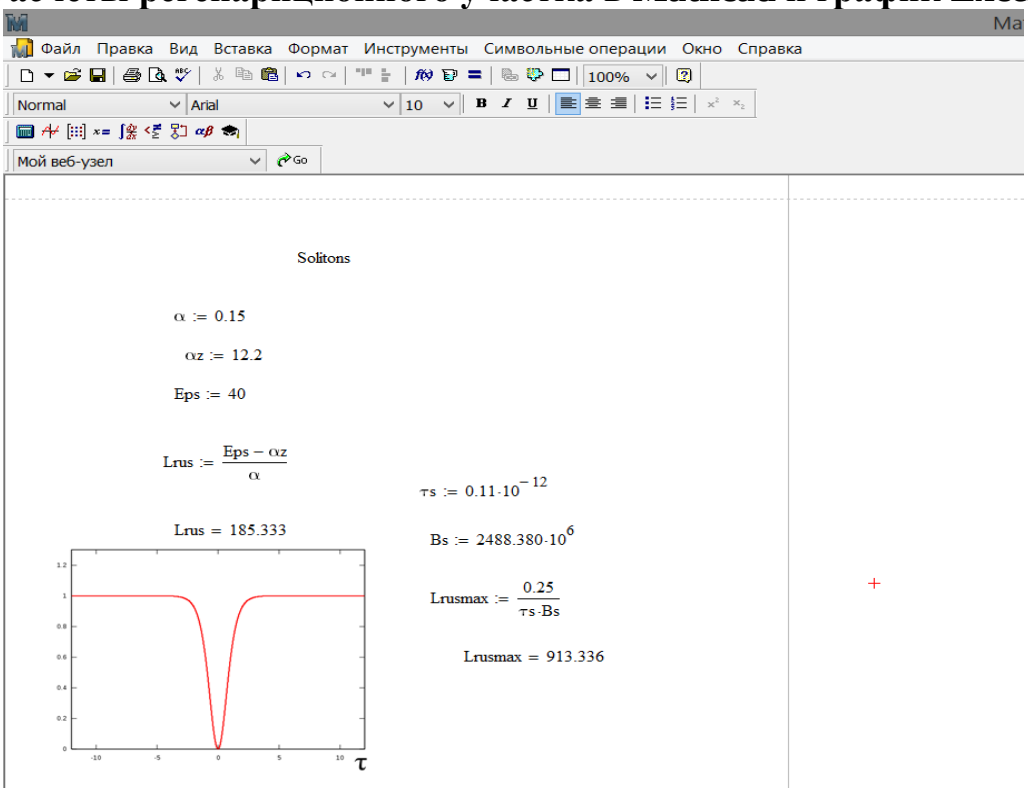
В экономическом разделе была дана характеристика проекта и представлен бизнес-план проектируемой системы со сроком окупаемости проекта 1,4 года с учетом коэффициента дисконтирования. Также был разработан маркетинговый план, в котором был рассмотрен рынок и произведено сравнение.

Список используемой литературы

1. А.Т. Филиппов, "Многоликий солитон", Москва 1990 г.
2. Дж. Л. Лем, "Введение в теорию солитонов", Мир 1983 г.
3. А. И. Маймистов, "Оптические солитоны", Москва 1999 г.
4. Н. Н. Розанов, "Мир оптических солитонов", 2007 г.
5. J. H. Lee et al., “Soliton self-frequency shift: experimental demonstrations and applications”, IEEE J. Quantum Electron. 14 (3), 713 (2008)
6. P. Grelu and N. Akhmediev, “Dissipative solitons for mode-locked lasers”, Nature Photon. 6, 84 (2012)
7. Optical Solitons, Autosolitons, and Similaritons, Govind P. Agrawal Institute of Optics University of Rochester, Rochester, NY 14627
8. Collisions between optical spatial solitons propagating in opposite directions, T. Carmon, J. Fleischer, M. Segev and S. Odulov Phys. Rev. Lett. 2002.
9. Nonlinear optical beam interactions in waveguide arrays / J. Meier, G. I. Stegeman, Y. Silberberg, R. Morandotti and J. S. Aitchison // Phys. Rev. Lett. -2004
10. Абдимуратов Ж.С., Мананбаева С. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Расчет производственного освещения» в выпускных работах для всех специальностей бакалавриат. – Алматы: АИЭС,2009.- 20с.
11. Дюсебаев М.К. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела в дипломных проектах для студентов всех форм обучения. – Алматы: АИЭС, 2003. – 27с.
12. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ Микроклиматические условия в помещении.
13. СНиП II – 4 – 79. Естественное и Искусственное освещение.
14. Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Методологические указания по выполнению экономического раздела выпускной работы бакалавров для всех форм обучения специальности 050719 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. Алматы: АИЭС,2009. – 19 с.
15. С. И. Яковленко Лазер с ядерной накачкой под. ред. А.М. Прохорова Физическая энциклопедия. — М.: «Советская энциклопедия», 1988. — Т. 2.
16. Сайт http://www.telecom.kz/page/single/plan-zakupok-na--2014 - План закупок товаров, работ и услуг АО "Казахтелеком" на 2014 год;
17. Сайт http://prodengi.kz/cat/filter/loan/express - кредитная ставка Банков на 2014 г.
18. Сайт http://kz.zarplat.info/инженер/153389 Статья «Сравнение зарплат» для Казактелекома 2014г. ;
19. Сайт Goszakup.ans.kz/.../протокол Статья «Тарифы на аренду цифровых каналов».

Приложение А

Расчеты регенариционного участка в Mathcad и график Excel



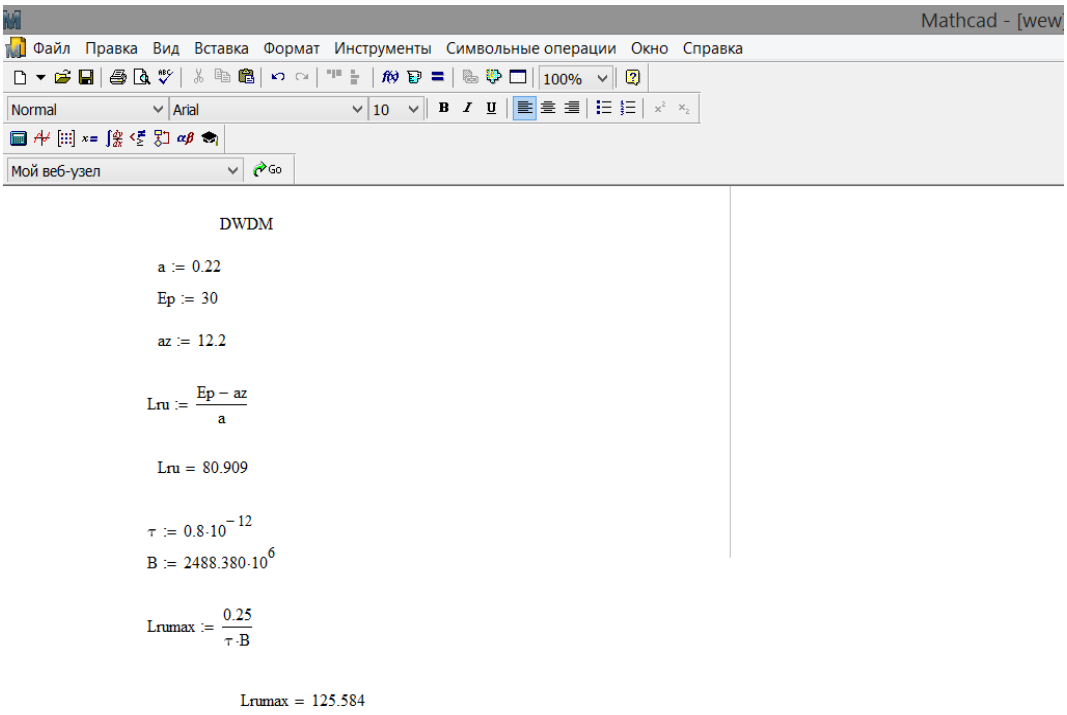


Рисунок А1 - Расчеты регенерационного участка в Mathcad

Длина рег. участка солитонновых линий -

Длина рег. участка системы DWDM -

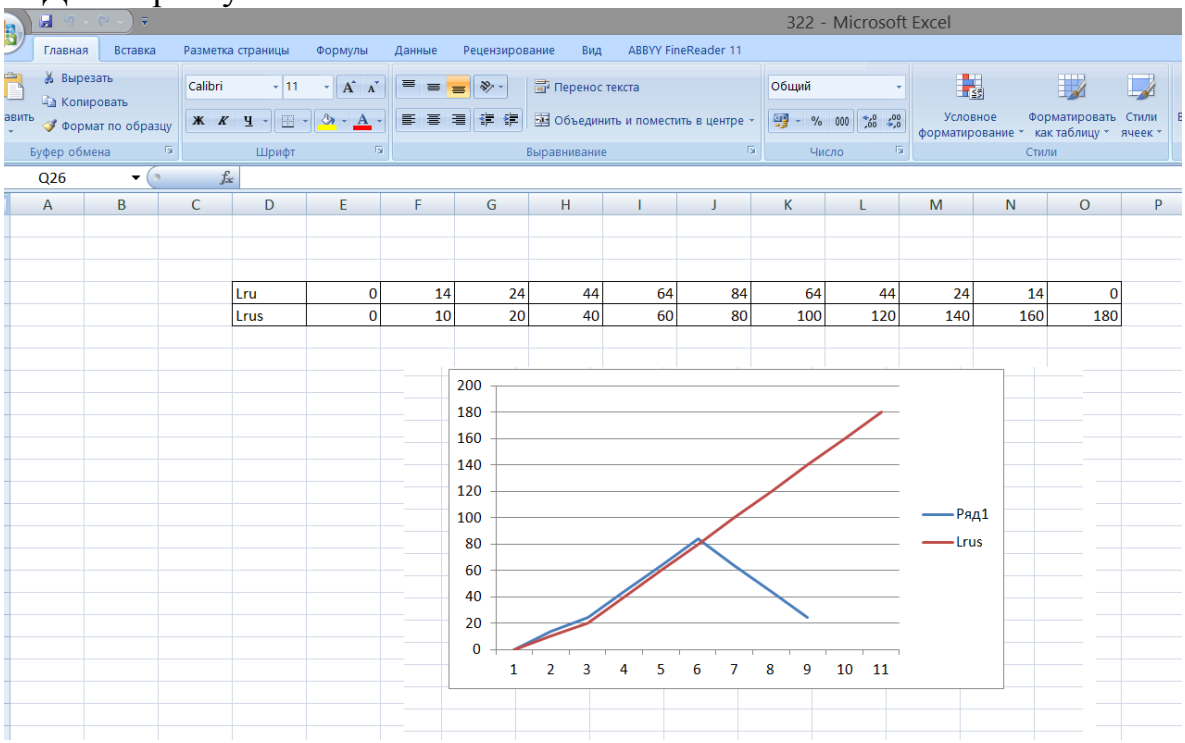


Рисунок А2 - График регенерационного участка Excel

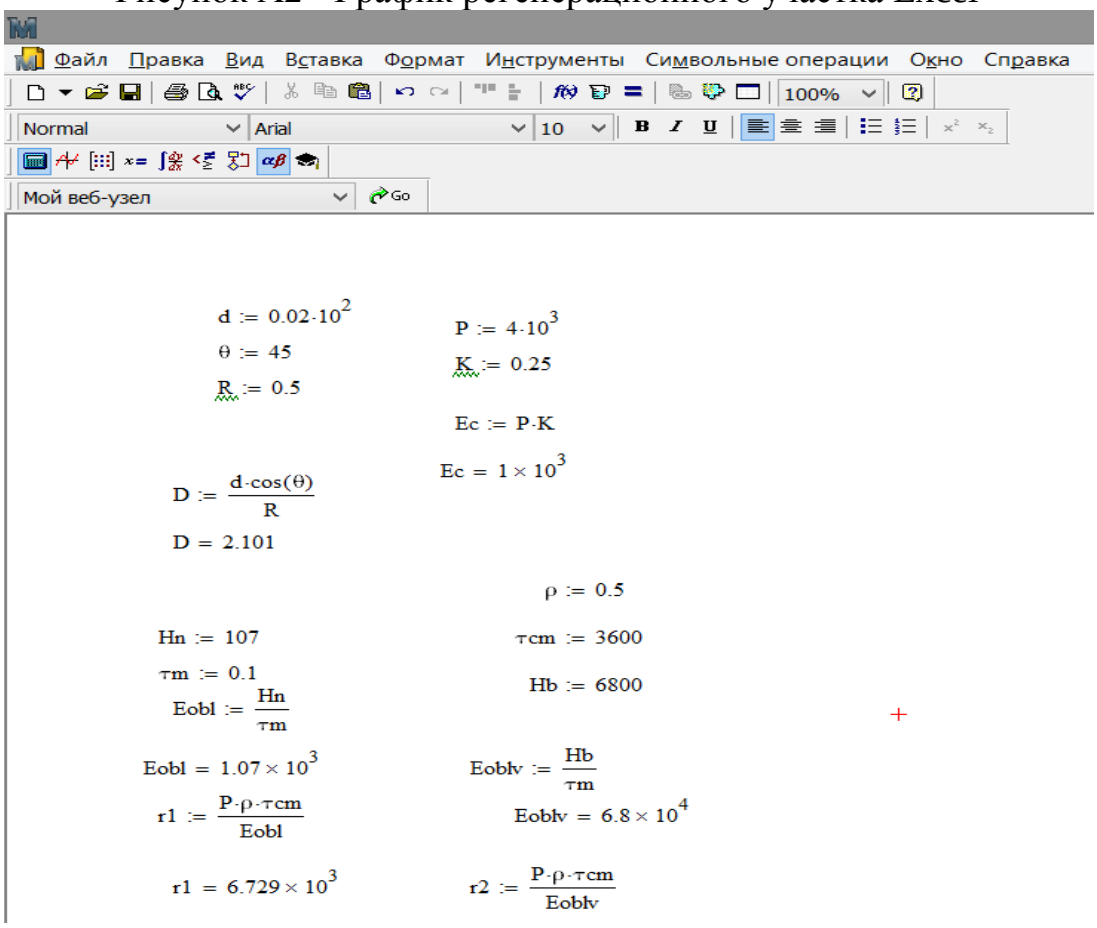


Рисунок А3 - Расчет Mathcad

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 100%

Мой веб-узел Go

$\lambda := 0.6$

$h := 3.7$

$Z := \lambda \cdot h$

$Z = 2.22$

$A := 25$

$B := 6$

$i := \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}$

$i = 1.308$

$E := 300$

$Ks := 1.2$

$S := 60$

$Z1 := 1.2$

$n := 3120$

$\eta := 0.73$

$N := \frac{E + Ks + S + Z1}{n \cdot \eta}$

$N = 0.159$

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 100%

Мой веб-узел Go

$ZP1 := 3 \cdot 4 \cdot 60000$

$ZP1 = 7.2 \times 10^5$

$ZP2 := 12 \cdot 12 \cdot 60000$

$ZP2 = 8.64 \times 10^6$

$ZPdop := 0.3 \cdot ZP2$

$ZPdop = 2.592 \times 10^6$

$FOT := ZP1 + ZP2 + ZPdop$

$FOT = 1.195 \times 10^7$

$Cn := 0.11(FOT - 0.1 \cdot FOT)$

$Cn = 1.183 \times 10^6$

$K := 74.054 \cdot 10^6$

$A := 0.25 \cdot K$

$A = 1.851 \times 10^7$

$Pm := 0.005 \cdot K$

$Pm = 3.703 \times 10^5$

$N2 := 0$

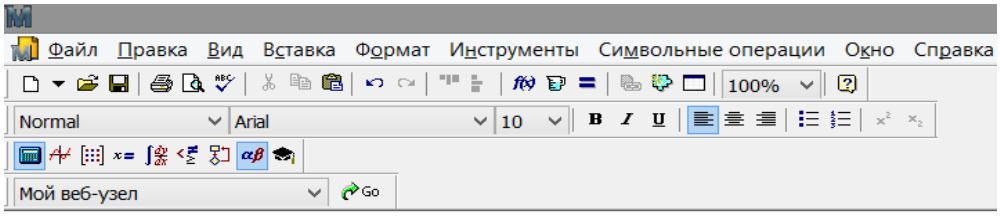
$Pel := (2920 \cdot 3.44 + 4380 \cdot 10.11 + 1460 \cdot 25.23) \cdot (N1 \cdot 0.1 + N2 \cdot 0.025)$

$Pel = 1.823 \times 10^4$

$Rnak := 0.7(FOT + Cn + A + Pm + Pel)$

$Rnak = 2.243 \times 10^7$

Рисунок А4 - Расчет Mathcad



$Q := 270$

$Cak := 150000$

$k := 12$

$D := Q \cdot Cak \cdot k \cdot 0.30$

$D = 1.458 \times 10^{8}$

$Egod := 65.343 \cdot 10^{6}$

$HD := D - Egod$

$HD = 8.046 \times 10^{7}$

$Hp := 0.2 \cdot HD$

$Hp = 1.609 \times 10^{7}$

$HP := HD - Hp$

$HP = 6.437 \times 10^{7}$

Рисунок А5 - Расчет Mathcad