

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Анализ потерь, возникающих в процессе  
эксплуатации ВЛЭС для ОЭС  
№0 «Казахтелефон»

Специальность 5В041900 Радиотехника и телекоммуникации

Выполнил (а) Забелин Е.Е. МТС-10  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Евсезарова Е.Ю. ст. преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Бабич А.А. старший преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Бабич А.А. «17» июня 2014 г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Макамбаева С.Е. старший преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Макамбаева С.Е. «16» окт 2014 г.  
(подпись)

по применению вычислительной техники:

Сейсенова В.О. старший преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Сейсенова В.О. «19» окт 2014 г.  
(подпись)

Евсезарова Е.Ю.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Евсезарова Е.Ю. «25» окт 2014 г.  
(подпись)

Нормоконтролер: ст. преподав. Т.К. Кодратович А.А.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Т.К. Кодратович А.А. «18» окт 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 Заочного обучения и переподготовки специалистов.  
Специальность 5В 07 1900 Радиотехника и телекоммуникации.  
Кафедра Телекоммуникационных систем.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Забелич Елена Егоровна  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Анализ потерь возникающих в процессе эксплуатации ВОЛС для ОДС АО "Казахтелеком".

утверждена приказом ректора № 45 от «24» сентября 20 13 г.

Срок сдачи законченной работы «25» мая 20 14 г.

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

Исходные данные к проекту взяты:  
из измерений параметров оптических  
сводных волокон на уз-ке  
"Кердай-Отар"

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

1. Структура волоконно-оптической системы кердаи.
2. Средства измерения параметров оптических кабелей.
3. Измерение общих потерь.
4. Измерение проводимое на всех этапах строительства.
5. Экономическая эффективность проекта.
6. Безопасность жизнедеятельности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Структурная схема волоконно-оптической системы передачи.
2. Механизмы основных потерь в световодах.
3. Составляющие потерь энергии в ОВ.
4. Собственные потери в оптическом волокне.
5. Рефлекторная волоконно All Wave с напряженной частью.
6. Рефлекторная волоконно.
7. Рефлекторная волоконно, показывающая месторасположение повреждения ОВ.
8. Алгоритм поиска неисправностей на ВОС.
9. Гидрофобная потеря для сварочного аппарата 3-174Н.
10. Типовая схема измерения затухания.

Рекомендуемая основная литература

1. Боровенков Е.В. Какое место перспективнее? Вестник связи. 1992. №1, с 28-29.
2. Кимельберг Б.П., Трошкин В.Ф., Лан В.А. Современное состояние волоконно-оптических линий связи.
3. Сахарова Т.М., Кушнirenко С.В. Снизить повреждаемость кабельных сооружений магистральных систем связи. Вестник связи. 1983 №11.
4. Жосков Б.Ф. Прокладка волоконно-оптических кабелей в пластмассовых трубопроводах. Автоматизация, телемеханика и связь. №1, с.5-6.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БТСД	Маманбаевас.В	23.04-16.05	Маманбаевас.В
Экономическ. часть	Бабич А.А.	29.04-18.06	Бабич А.А.
Вох. тех.	Сейенов В.В.	26.05-10.06.19	Сейенов В.В.
спец. часть	Елизарова Э.В.	25.05	Елизарова Э.В.

## Г Р А Ф И К

подготовки дипломного проекта

[illegible]

Дата выдачи задания «25» сентября 20 13 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель \_\_\_\_\_ Евсизарова Е.Ю  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению  
студент Азизов Забиев Е. Е.  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

## **Аңдатпа**

Айтылмыш дипломдық жобада қара- тақырып: шығынның "анализының ара үдеріс ВОЛС" қанаушылығының болды.

Алқындыр- себептің анализы шақырушылардың шығындар оптикалық трактте болды. Әдіс және шығынның өлшет- ақы-пұлдары келтір-. Үдемелі статистикалық деректердің салыстырмалы анализы және шынайы телімде алқындыр. Ал да практикалық ұсыныстар ша шығынның кемуінің айтылмыш.

## **Аннотация**

В данном дипломном проекте была рассмотрена тема: «Анализ потерь возникающих в процессе эксплуатации ВОЛС».

Был сделан анализ причин вызывающих потери в оптическом тракте. Приведены методы и средства измерения потерь. Сделан сравнительный анализ динамических и статистических данных на реальном участке. А также даны практические рекомендации по уменьшению потерь.

## **Annotation**

In this thesis-project has addressed the topic: "Analysis of losses arising in the process of operation the FOL".

The analysis was done of the reasons causing losses in the optical path. The methods and means of measurement of losses. The comparative analysis of dynamic and statistical data on the real site. As well as practical recommendations on reduction of losses.

## **Содержание**

Ведение	
1 Структура волоконно-оптической системы передачи	7
1.2 Преимущества и недостатки использования оптических волокон в системах связи	8
1.3 Общая функция и классификация затуханий в оптических кабелях	10
1.4 Собственные затухания	11
1.5 Дополнительные кабельные затухания	15
2 Средства измерения параметров оптических кабелей	17
2.1 Геометрические параметры ОВ и методы их измерений	17
2.2 Приборы и методы контроля оптических параметров компонентов ВОЛС	18
2.3 Метрологический контроль при прокладке ВОЛС	24
2.4 Контроль состояния эксплуатируемых линий связи	25
2.5 Использование рефлектометра для ранней диагностики волоконно-оптической линии связи	27
2.6 О разрешающей способности оптического рефлектометра и точности измерений	30
3 Измерение общих потерь	33
3.1 Промышленный анализ оптоволоконных кабелей	34
3.2 Измерение потерь при термо соединении волокон	36
3.3 Эксплуатационные измерения на ВОСП	40
3.4 Стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП	48
4 Измерения, проводимые на всех этапах строительства	50
4.1 Измерения на кабельной площадке	50
4.3 Основные факторы, влияющие на надёжность	53
4.4 Расчёт показателей надёжности	57
4.5 Расчет длины регенерационного участка	61
4.6 Определение суммарных потерь в оптическом тракте	63
4.7 Расчет полного запаса мощности системы	65
4.8 Расчет энергетического запаса	65
4.9 Определение отношения сигнал/шум	65
4.10 Определение уровня передачи мощности оптического излучения на выходе передающего оптического модуля (ПОМ)	66
4.11 Определение уровня потерь	66
4.12 Определение быстродействия системы	66
4.13 Расчет характеристик проектируемого кабеля	67
5 Экономическая эффективность проекта	75
6 Безопасность жизнедеятельности	86
Заключение	93
Список литературы	94
Приложение А –Окно программы расчета параметров кабеля	95

Волоконная оптика сегодня получили широкое развитие и применение в различных областях науки и промышленности (связь, электроника, энергетика, термоядерный синтез, медицина, космос, машиностроение, летающие объекты, вычислительных комплексов, и т.д.). Темпы роста волоконной оптики и оптоэлектроники на мировом рынке впереди всех других отраслях техники и 40% в год. В нескольких странах (Англия, Япония, Франция, Италия и др.) уже в ходе строительства объектов связи используется в основном оптические кабели. По мере развития волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) предполагают, что производстве оптических волокон в США. Недавно они составляли около 10 млн км волоконно. Такой номер бы составить 250 витков вокруг земного шара. Создание высоконадежных оптических кабельных систем связи стало возможным в результате развития в начале 70-х оптическое волокно с низкими потерями. Такие волокна значительно стимулировало развитие специализированного оборудования и элементов линейной путь ВОСП. Возможные области применения волоконно-оптических широк - от линии городской и сельской связи и бортовых систем (воздушных судов, ракет, кораблей) для систем связи на большие расстояния с высокой информационной емкостью. На основе волоконно-оптическое соединение может быть создано новых систем передачи информации. Перспективным направлением является использование оптических систем кабельного телевидения, которая обеспечивает высокое качество изображения и значительно расширяет информационное обслуживание абонентов. В оптических систем передачи использовать те же методы образования многоканальной связи для обычных систем передачи электрической линии, т.е. частота и время методы разделения каналов. Во всех случаях, оптические каналы передачи электроэнергии, вырабатываемой частоты или временный метод модуляции оптического носителя. В виде модулированных световых сигналов, передаваемых на кнопку "ОК". В основном, используется метод модуляции интенсивности оптического носителя, в которых амплитуда электрического сигнала зависит от мощности излучения поставляется кабель. В настоящем документе, должны рассматриваться для получения общей информации по ВОЛС. Причины потерь в оптическом кабеле. Методы и средства измерений в процессе эксплуатации. Рассмотреть практические решения, методов, чтобы уменьшить потери на трассе.

## **1 Структура волоконно-оптической системы передачи**

По сути, ВОСП содержат функциональных единиц, свойственные любому систем радиосвязи. Кроме того, формирование сигналов в принципе, вы можете использовать те же методы кодирования и модуляции, которые известны в радио диапазоне. Однако, ряд объектов в оптическом диапазоне и используется для элементной базе определенные ограничения в реализации возможностей ВОСП или привести к техническим решениям, нетрадиционных инженерных коммуникаций. Волоконно-оптические системы передачи; - сочетание активных и пассивных устройств, предназначенных для передачи информации на расстояние по оптических волокон (ов) с помощью оптической волны и сигналы. Иными словами, ВОСП-это сочетание оптических приборов и оптических линий связи для создания, передачи и обработки оптических сигналов. Это оптического сигнала, модулированного оптического излучения, лазер или светодиод. На рисунке 1 представлены основные компоненты такой системы

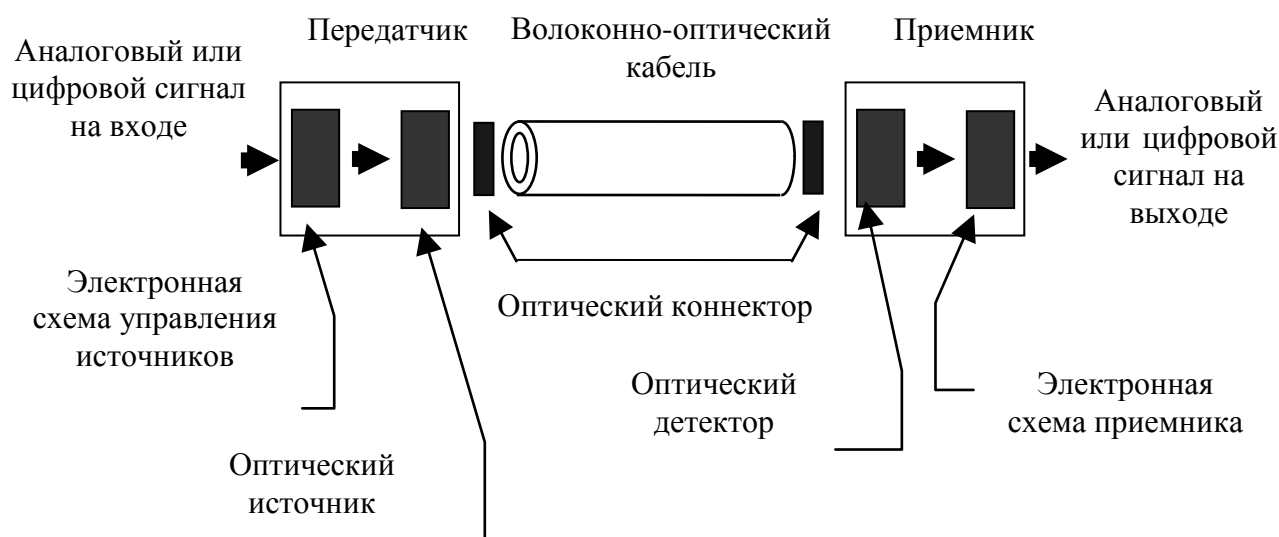


Рисунок 1 – Структурная схема волоконно-оптической системы передач

Передатчик преобразует электрические сигналы в световые. Эта трансформация делает источника, либо под руководством или лазерного диода. Электронная схема преобразует входной сигнал в сигнал определенной формы, необходимые для управления версиями. Волоконно-оптический кабель - среды, в которой распространяется свет сигнала. Кабель состоит из оптического волокна и защитных оболочек. Ресивер предназначен для приема световой сигнал и его обратного преобразования в электрические сигналы. Его основными частями являются оптического детектора, непосредственно выполняющих функцию преобразования сигнала. Соединители, Разъемы для подключения fibre источника оптического детектора, а также для соединения волокон между собой. В настоящее время связь через волоконно-оптические линии связи являются



предпочтительными цифровых систем передачи (ЦСП) с импульсно-кодовой модуляцией (PCM), что обусловлено, в дополнение к общим выгодам ЦСП по сравнению с аналоговых систем передачи (АСП) Характеристика работ и строительства ВОСП. Это из-за высокого уровня шума, фотодиоды, которые используются в качестве детекторов оптического излучения. Чтобы получить необходимое качество передачи информации с помощью АСП требует специальных методов приема и обработки оптического сигнала в аналоговый. НТС обеспечивает необходимое качество передачи информации в сигнал / шум на 30...40 дБм меньше, чем АСП. Поэтому реализация ВОСП с использованием ЦСП гораздо проще по сравнению с АСП. В ВОСП border используется для ИК-диапазоне длин волн от 800 до 1600 нм, в то время как привилегированными являются длинами волн 850 и 1300 и 1550 нм

## **1.2 Преимущества и недостатки использования оптических волокон в системах связи**

Волоконно-оптической связи, имеют ряд преимуществ по сравнению с электронными системами, которые используют средства передачи на металлической основе. Среди них можно указать следующие. Широкая полоса из-за чрезвычайно высокой несущей частотой около 10<sup>14</sup> Гц, которая обеспечивает возможность передачи по одному оптическому волокну поток информации в несколько терабит в секунду. Больше пропускной способности является одним из наиболее важных преимуществ волоконно-оптических по меди или других СМВ. Небольшой затухание оптического сигнала в волокне. Действующих отечественных и зарубежных оптическое волокно имеет затухание 0.2-0.3 дБ на длине волны 1.55 мкм в один километр. Малого демпфирования и малой дисперсии позволяют построить участки линий без эстафеты протяженностью свыше 100 км Низкий уровень шумов в волоконно-оптический кабель позволяет увеличить пропускную способность за счет использования различных методов модуляции сигналов при низкой избыточности кодирования них. Высокая помехоустойчивость. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, выработать иммунитет к электромагнитным помехам от других медных кабельных систем и электрического оборудования, способных индуцировать электромагнитного излучения (линий электропередач, монтаж двигателей и т. д.). Малый вес и объем. Волоконно-оптические кабели имеют меньший вес и объем по сравнению с медными кабелями в расчете на одинаковую ширину полосы пропускания. Высокая степень защиты от несанкционированного доступа. Потому что Соп практически не излучает радиочастотную энергию, передаваемую информацию трудно подслушать, не нарушая принятия. Гальваническая развязка. Это преимущество оптического волокна его

теплоизоляционные свойства.

**Взрывобезопасность.** Из-за отсутствия искриться оптического волокна повышает безопасность сетей связи в химической, нефте-перерабатывающих предприятий в обслуживании технологических процессов повышенного риска.

**Эффективность.** Волокно изготовлено из кварца, который на основе диоксида кремния, широко распространенный в природе и, в отличие от меди, недорогой материал. В настоящее время, стоимость волоконно-оптических и медных пар связанных между собой как 2:5.

**Долгой жизни.** В настоящее время срок службы ГАИ составляет примерно 25 лет. В течение этого времени может длиться несколько поколений стандартов приемо-передающих систем.

**Возможность питания.** Оптические волокна в состоянии выполнять функции силового кабеля и используется только для передачи информационных сигналов. Однако, в некоторых случаях необходимо применить силу к информации узла волоконно-оптической сети. В этих случаях, вы можете использовать смешанные кабель, когда наряду с волоконно-оптического кабеля установлены с медными жилами. Такие кабели широко используется в нашей стране и за рубежом.

Вышеперечисленные преимущества оптического волокна в качестве среды для передачи цифровых сигналов позволяет сформулировать следующие преимущества волоконно-оптических систем связи.

В волоконно-оптических системах связи передаются сигналы искажаются в любой форме внешние электронные, электромагнитные и радиочастотные помехи.

Волоконно-оптическая связь является более предпочтительным, чем другие виды связи, когда одним из основных требований является безопасность его эксплуатации во взрывоопасных, воспламеняющихся или electroepitaxy средах и условиях.

Волоконно-оптические системы связи, которые идеально подходят для передачи данных в цифровых вычислительных систем, цифровая телефония и videosexually систем, которые требуют использования новых физических эффектов и принципов разработки и улучшения характеристик систем передачи.

Волоконно-оптические системы являются также недостатки, которые в основном связаны дорогие точности монтажа оборудования, сравнительно высокая стоимость лазерных источников излучения и специальные требования к защите волокна. Однако, выгоды от использования волоконно-оптических линий связи (ВОЛС настолько значительны, что, несмотря на эти недостатки, перспективы дальнейшего развития технологии ВОЛС в информационных сетях более чем очевидна.

### **1.3 Общая функция и классификация затуханий в оптических кабелях**

Затухания в общем понимании обусловлены собственными потерями в ОВ  $\alpha_c$  и дополнительными потерями, так называемым кабельными,  $\alpha_k$  обусловленными скруткой, а также деформацией и изгибами оптических волокон при наложении покрытий и защитных оболочек в процессе изготовления оптического кабеля:

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_k .$$

Собственные потери волоконного световода состоят из потерь поглощения  $\alpha_n$  и потерь рассеяния  $\alpha_p$ :

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_p .$$

источники потерь, относимых к этой категории являются постоянными для каждого типа волокна, они определяются на основе совершенствования технологии производства волокна, и, как показывает опыт эксплуатации волоконно-оптических кабелей, километральное затухание S не менялись уже давно (около 10 лет) сроки.

Убытки, возникающие в результате распространения сигнала через волоконный световод, из-за того, что часть мощности на входе волокна, рассеивается из-за изменения направления распространения лучей на нарушения и их выбросов в окружающую среду (р), другая часть мощность, поглощенная молекулами кварца (РМ) и фальсификации, (РМ), выделяясь в Joule тепла. Примеси могут быть ионы металлов (никеля, железа, кобальта и др.) и группу гидроксидов (ОН), что привело к появлению резонансных пиков затухания. Из-за чистого убытка определяется выражением

$$\alpha = \alpha_{pm} + \alpha_{pp} + \alpha_p + \alpha_k .$$

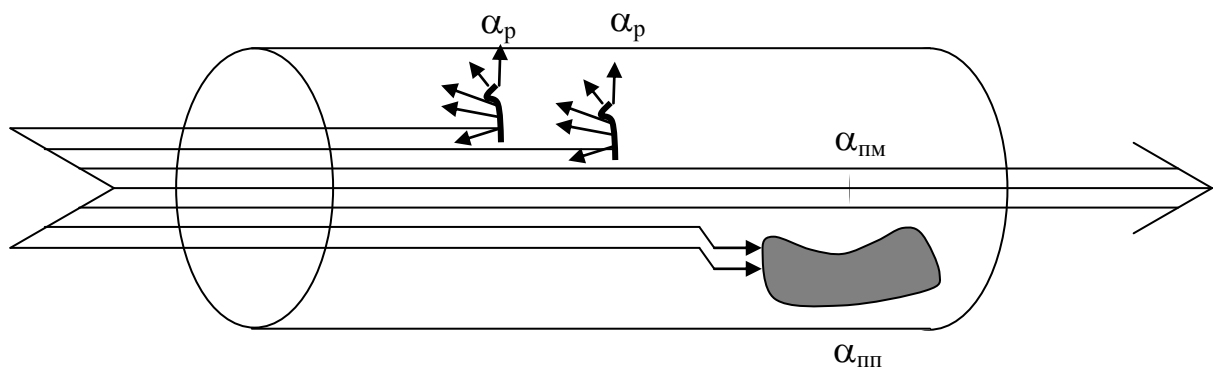
Описанная выше классификация затуханий в оптическом кабеле представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Классификация затуханий в оптическом кабеле

#### 1.4 Собственные затухания

Механизм основных потерь, возникающих при распространении по ОВ электромагнитной энергии, иллюстрируется на рисунке 3 [10].



$\alpha_p$  – рассеяние на нерегулярностях;  
 $\alpha_{пп}$  – поглощение из-за примесей;  
 $\alpha_{пм}$  – поглощение в материале волокна.

Рисунок 3 – Механизмы основных потерь в световодах:

#### 1.4.1 Затухания из-за поглощения энергии в материале оптического волокна

Потери на поглощение состоят из собственного поглощения и поглощения из-за наличия в стекле ионов металлов переходной группы  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  и ионов гидроксильной группы  $OH$ . Собственное поглощение проявляется при идеальной структуре материала. Механизм этих потерь связан с поведением диэлектрика в электрическом поле (диэлектрической поляризацией). В диапазоне рабочих частот ВОСП количественно они могут быть оценены по формуле [11]

$$\alpha_n = 8,69 \frac{\pi n_1 \operatorname{tg} \delta}{\lambda}, \text{ дБ/км},$$

где  $n_1$  – показатель преломления сердцевинки ОВ;

$\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь материала сердцевинки ОВ, принимающий значения в диапазоне от  $10^{-12}$  до  $2 \cdot 10^{-11}$ ;

$\lambda$  – длина волны, км.

Как видно из формулы эта составляющая поглощения линейно растет с частотой и существенно зависит от свойств материала оптического волокна ( $\operatorname{tg} \delta$ ). Она характеризует нижний предел поглощения для данного диэлектрика и становится значимой в ультрафиолетовой и инфракрасной областях. При длине волны излучения выше 1,6 мкм обычное кварцевое стекло становится непрозрачным из-за роста потерь, пропорциональных показательной функции и уменьшающихся с ростом частоты по закону [11]:

$$\alpha_{ук} = c e^{-\frac{k}{\lambda}}, \text{ дБ/км},$$

где  $c$  и  $k$  – постоянные коэффициенты (для кварца  $k=(0,7 \div 0,9) \cdot 10^{-6}$  м,  $c=0,9$ ).

Примеси поглощения для различных очки, в зависимости от валентного состояния изменений. Так ионами металлов переходной группы, присутствующие в стекло, электронные переходы в диапазоне длин волн (0,5 - 1,0) мкм и вызвать соответствующие полосы поглощения. Пики поглощения за счет ионов металлов в очень широком диапазоне. Другим значимым с точки зрения поглощения примеси воды, присутствующей в виде ионов он. Содержание ионов в стекло, затронутых процессов ее производства. Она выраженным максимумом поглощения в области длин волн 1480 нм. Он всегда присутствует. Поэтому области спектра в окрестности этой горы из-за больших потерь практически не используются. Однако, следует отметить, что к 1970 году производились оптические волокна становится настолько чистым (99,9999%), что присутствие примесей перестает быть доминирующим фактором, затухания в

волоконно. Дальнейшее уменьшение затухания мешает так называемый Рэлеевского рассеяния света.

#### 1.4.2 Затухания из-за Рэлеевского рассеяния света

Затухания вследствие рассеяния вызываются несколькими механизмами. Во всех оптически прозрачных веществах свет рассеивается в результате флуктуаций показателя преломления в свою очередь возникших вследствие тепловых флуктуаций в жидкой фазе и «замороженных» при затвердевании. Показатель затухания, обусловленного рассеянием, может быть найден из выражения [10]

$$\alpha_p = 4,34 \frac{8\pi^3(n_1^2 - 1)}{3\lambda^4} k\beta T 10^3,$$

где  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;  
 $T=1500$  К – температура затвердевания стекла при вытяжке;  
 $\beta=8,1 \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup>/Н – коэффициент сжимаемости (для кварца);  
 $n_1$  – показатель преломления сердцевины.

Это известно как Рэлеевского рассеяния. Обрато четвертой степени длины волны и характерным неоднородностей, размеры которого меньше длины волны, и расстояние между ними достаточно велика явлений взаимодействия были исключены. Затухание из-за рассеяния на колебаний возрастает с увеличением показателя преломления. В дополнение к флуктуаций плотности, существенными являются также колебания концентрации оксидов. Добавлена к стеклу оксидов обычно увеличение показателя преломления, так неоднородность концентрации создает большие колебания. Причина рассеяния могут быть не-неоднородность материала. В результате недостаточного перемешивания и выдержки при требуемой температуре, при плавлении стекла могут возникнуть области фазового разделения компонентов. Эта причина заключается в принципиально могут быть устранены качества процесса приготовления пищи, в то время как влияние тепловых флуктуаций смертельным исходом. Общие потери на рассеяние зависит от длины волны по закону  $= -4$  и величина может быть оценена по формуле [11]

$$\alpha_p = \frac{K_p}{\lambda^4}, \text{ дБ/км},$$

где  $K_p$  – коэффициент рассеяния, для кварца равный  $0,8$  [(мкм<sup>4</sup>. дБ)/км];

$\lambda$  – длина волны, мкм.

Рассеяния рассмотренных видов не связаны с нелинейными процессами. При достаточно больших мощностях могут возникнуть нелинейные процессы, при которых параметры материала изменяются в

зависимости от величины мощности, распространяющейся в данном материале. В результате может появиться вынужденное комбинационное рассеяние, направленное в сторону распространения электромагнитной энергии. Другой причиной нелинейного рассеяния может являться вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Это явление вызвано тем, что когда мощность выше некоторого порога нелинейные процессы приводят к переходу мощности первичных волн в излучение других длин волн. Этот вид излучения в основном направлен назад.

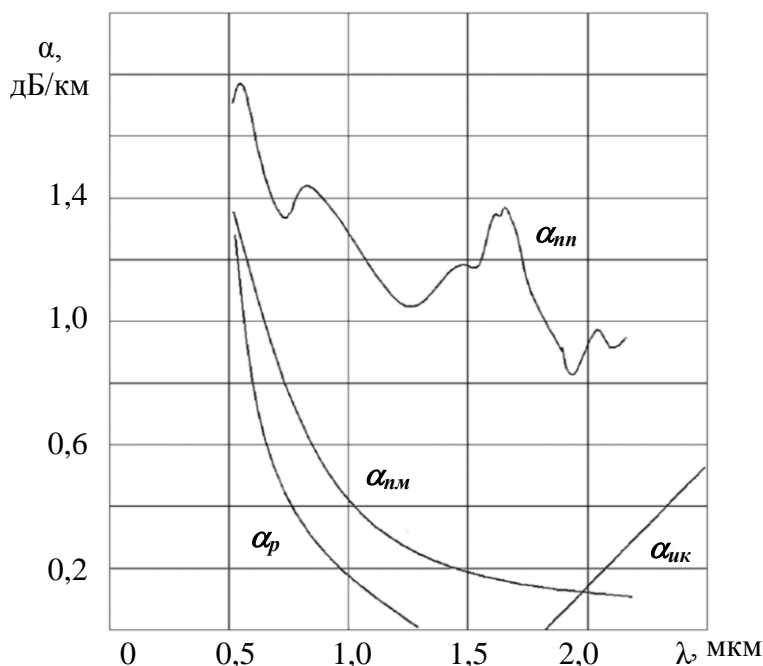


Рисунок 4 – Составляющие потерь энергии в ОВ

На рис. 4 представлена модель зависимость основных компонентов потери волны, за исключением дополнительные потери в кабеле  $\alpha_k$ , что всегда приводит к увеличению затухания  $S$  и зависят от многих факторов. Как видно из графика, Рэлеевского рассеяния  $M$  предел нижний предел потерь в левой части, и инфракрасного поглощения  $\alpha_{ик}$  - в правой. Длина волны, на которой достигается нижняя граница естественного затухания чистого кварцевого волокна, 1550 нм и определяется разумный компромисс между потерями из-за Рэлеевского рассеяния и инфракрасного поглощения. Внутренние потери хорошо интерполируются формулой [24]

$$\alpha = K_{rel} \lambda^{-4} + \delta_{OH}(\lambda) + C e^{-k/\lambda},$$

где  $\delta_{OH}(\lambda)$  отражает пик поглощения на примесях ОН с максимумом при 1480 нм, а первое и последнее слагаемые соответствуют Рэлеевскому рассеянию и инфракрасному поглощению соответственно ( $K_{rel} = 0,8 \text{ мкм}^4 \cdot \text{дБ/км}$ ;  $C = 0,9 \text{ дБ/км}$ ;  $k = 0,7-0,9 \text{ мкм}$ ; данные приведены для кварца).

На рисунке 4.4 приводится общий вид спектральной зависимости собственных потерь с указанием характерных значений четырех основных параметров (минимумов затухания в трех окнах прозрачности 850, 1300 и 1550 нм, и пика поглощения на длине волны 1480 нм) для современных одномодовых и многомодовых волокон [24].

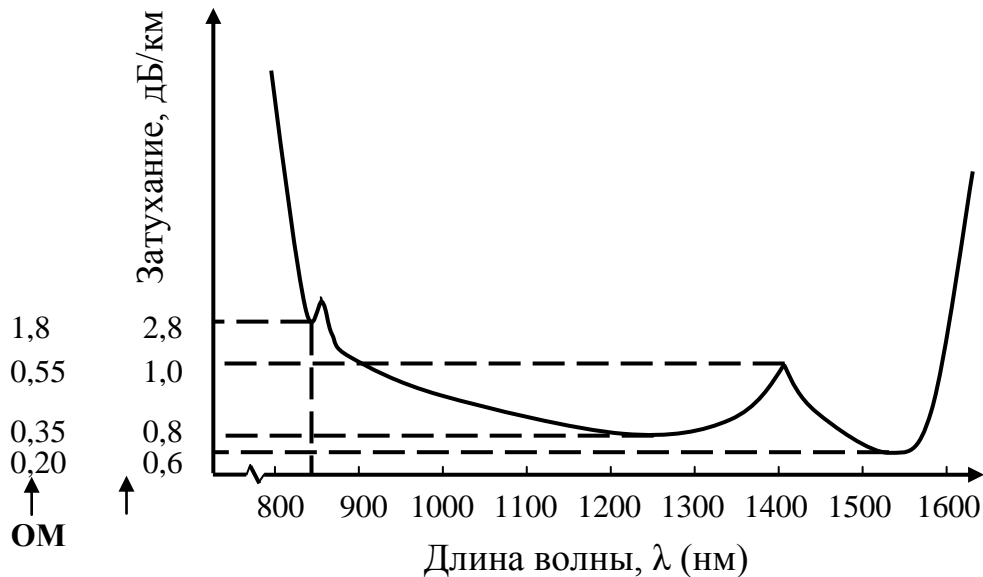


Рисунок 5 – Собственные потери в оптическом волокне

## 1.5 Дополнительные кабельные затухания

Дополнительное затухание, обусловленное кабельными потерями ( $\alpha_k$ ), состоит из суммы по крайней мере семи видов парциальных коэффициентов затухания [11]

$$\alpha_k = \sum_{i=1}^7 \alpha'_i,$$

где  $\alpha'_1$  — возникает вследствие приложения к ОВ термомеханических воздействий в процессе изготовления кабеля;

$\alpha'_2$  — вследствие температурной зависимости коэффициента преломления материала ОВ;

$\alpha'_3$  — вызывается микроизгибами ОВ;

$\alpha'_4$  — возникает вследствие нарушения прямолинейности ОВ (скрутка);

$\alpha'_5$  — возникает вследствие кручения ОВ относительно его оси (осевые напряжения скручивания);

$\alpha'_6$  — возникает вследствие неравномерности покрытия ОВ;

$\alpha'_7$  — возникает вследствие потерь в защитной оболочке ОВ.

Таким образом, дополнительные потери определяются, главным образом, процессы энергетического рассеяния на неоднородностях, которые возникают из-за указанных выше эффектов, и частично большие потери на



поглощение энергии. Причиной роста потерь на поглощения остаточной продольном и поперечном напряжении опции, которые могут возникнуть в производстве кабелей.

В некоторых случаях *microshemi* может существенно повлиять на рост  $\alpha_k$ . Значение потерь на один *microengine* могут различаться (0,01% до 0,1) дБ. Приращения затухания от *mitroshilov*  $\alpha'_3$  зависит от небольших локальных нарушений прямолинейность *S* характеризуется смещением оси *S* в поперечном направлениях на месте *microengine*. Основные причины возникновения *mitroshilov* местные неосесимметричного механических усилий разного происхождения, применяемых в очень небольших участках РС. К *microskopam* должны включать такие поперечной деформации *S*, для которых максимальное смещение оси изыщных, соизмеримой с диаметром сердцевины волокна. Особенности *mitroshilov* заключается в том, что они, как правило, многочисленные, расстояние между соседними *microengine* значительно больше своего размера. Общий вклад убытки, полученные по *microengine*, может быть значительным. Из-за *microengine* ограничивает диафрагма угол излучения, идущего вдоль *S*, и часть энергии излучается от РС. Зависимость приращения затухания от *microengine*  $\alpha'_3$ , может быть определено из выражения [11]:

$$\alpha'_3 = k_3 N_u y_u^2 \frac{a^4}{\Delta^3 b^6} \left( \frac{E_0}{E_c} \right)^{3/2},$$

где  $k_3 = 0,9 \div 1,0$ ;

$N_u$  – число неоднородностей в виде выпуклостей со средней высотой  $y_u$  на единицу длины;

$a$  – радиус сердцевины;

$b$  – диаметр оптической оболочки;

$\Delta$  – относительное значение показателя преломления;

$n_1$  и  $n_2$  – показатели преломления сердцевины и оболочки;

$E_0$  и  $E_c$  – модули Юнга оболочки и сердцевины ОВ.

## 2 Средства измерения параметров оптических кабелей

В процессе прокладки и эксплуатации волоконно-оптических линии связи они нуждаются в постоянном контроле технических параметров путем периодических измерений основных характеристик, на основании которых делаются выводы о надежности работы, как отдельных ее участков, так и магистрали в целом.

### 2.1 Геометрические параметры ОВ и методы их измерений

Общие размеры  $S$  в микрометрах: 50/125 (стандартизованный коэффициент диаметра сердечника и оболочки для градиентного волокна, принятых в большинстве стран), 62,5/125, 85/125. Але оболочка диаметром 125 мкм, а диаметр ядра 8 9 мм. Допуски размеров: диаметр сердечника - / + 6%), оболочки диаметром 2,4 - 4%; concentric.net 6%, эллиптичности ядра и оболочки 6% и 2,4% соответственно. При получении  $S$  капот закупок отклонения геометрической формы последние переведены на волокна. За высокое качество ресторана исходной заготовки, которая имеет диаметр от 2 до 25 мм, должны тщательно контролироваться. Типичные размеры используемых заготовок: диаметр 7 - 10 мм, длина 100-500 мм. Строительная длина Let'S и ок может быть 4 - 12 км [105]. Физическая длина прибр не равна длине  $S$  в ней, как в производстве кабелей извилистой RC. Поперечные измерения геометрических параметров. Суть погружения - оптический метод погружается исследованы  $S$  погружения в среду PP, неподалеку этого материала, а также мониторинг изображение сечения оптических приборов. Для измерения геометрических параметров заготовки длиной более 100 мм используется время, проектор типа "ЧП". Измерение волокон, fokanov используемые измерительные микроскопы. Измеряется последовательно координаты пересечения границы иммерсионной жидкости и оболочки ядра для максимального и минимального диаметра (подготовка очередь в канаве с иммерсионной жидкости, максимальный и минимальный диаметр определяется визуально). По разности соответствующие координаты определения максимального и минимального диаметра и других геометрических параметров. Этот метод позволяет визуально проверить структуру заготовки, для выявления внутренних дефектов - трещин, пузырей, включения, трещины - и, кроме поперечных размеров, чтобы определить свою рабочую длину. Измерение диаметра основное предложение. Измерение диаметра основной продукт в любой точке неразрушающий метод обеспечивает метод, основанный на руководящих указаний в ы нормированной Кривой его оптической оси [107]. Передача наклонился  $S$ , зависит от соотношения радиуса изгиба радиусу ядра. Первым рассчитал зависимость пропускания

радиус изгиба образцовое с диаметром сердечника и преломления, соответствующих контролируемых волокна. Эта зависимость определяется радиусом изгиба, обеспечения поиска операционной точки на графике явная зависимость светопропускания от радиуса изгиба. Являются протяжные S через измерительные системы. Если диаметр основной продукт-не изменились, на входы прибора сравнению получить тот же сигнал с выхода датчика и устройства хранения данных, а на выходе устройства сравнения, сигнал об ошибке-это ноль.

## **2.2 Приборы и методы контроля оптических параметров компонентов ВОЛС**

Методы контроля параметров РС. Метрологическое обеспечение продукции волоконной оптики является измерение оптической мощности: мощность преобразователя излучения в электрический сигнал используется практически любые средства измерения параметров электромагнитных волн видимого и ИК-диапазона. Весь набор возможных мер в ВОСП можно разделить на две группы: системные и измерения производительности. Система измерения span диагностики целостности S с помощью оптического рефлектометра, и оперативно - определение соответствия параметров передачи их расчетных значений. Обеспечивают выполнение и соблюдение проектных параметров ВОЛС возможно на основе сложной системы и оперативных измерений. Набор измерений зависит от типа S и включает в себя измерение следующих параметров:

- Эля: затухание, хроматическая дисперсия и поляризация разрезал волны, Размер, режим spot
- МОУ для: ослабление эффекта межмодового и хроматической дисперсии, числовые апертуры, диаметр сердечника.

В Эль измерение затухания проще, чем в мов. Поскольку пропускная ALE зависит от хроматической дисперсии, отклонение может быть определена из импульсной характеристикой (по сравнению виде импульсов, поступающих на вход и выход). Длина волны отсечки может быть определена путем отправки короткого сегмента S потока излучения широкого спектра и измерения затухания спектральных составляющих. Модового пятна определяется как расстояние между двумя точками на периферии предложение, в котором intensity  $1/e$  раза меньше, чем его максимальное значение.

В " меморандуме о взаимопонимании " измерение производится после установления равновесного распределения мод, и требуемое значение определяется из сравнения потери короткого отчетного S убыток испытанного волокна. Эффекта межмодового дисперсия определяется путем сопоставления Длительность выходного импульса в начале своих коротких импульсов с узким спектральным составом. Хроматическая дисперсия вычисляется из общей дисперсии импульса широкого спектрального состава

с учетом эффекта межмодовой дисперсии. Числовая апертура определяется выход  $S$  на максимальный угол раствора конуса выходного пучка. Диаметр сердцевины определяется на выходе RC. Это измерено распределение  $S$ . Выходная мощность при условии возбуждения полный набор режимов на вход.

Для пассивных элементов ВОЛС используется для измерения вносимых потерь, потери повторяемость вставки. Например, разъем для вставки убытка определяется с использованием светодиодов, два коротких ок, две тестовые разъемы и измеритель мощности. Сначала измерить силу, текущую через первую ок с разъемом. Далее измеряется Выходная мощность подключен ко второму ок. Вносимые потери, Методы контроля параметров RC. Метрологическое обеспечение продукции волоконной оптики является измерение оптической мощности: мощность преобразователя излучения в электрический сигнал используется практически любые средства измерения параметров электромагнитных волн видимого и ИК-диапазона. Весь набор возможных мер в ВОСП можно разделить на две группы: системные и измерения производительности. Система измерения span диагностики целостности  $S$  с помощью оптического рефлектометра, и оперативно - определение соответствия параметров передачи их расчетных значений. Обеспечивают выполнение и соблюдение проектных параметров ВОЛС возможно на основе сложной системы и оперативных измерений. Набор измерений зависит от типа  $S$  и включает в себя измерение следующих параметров:

- Эль: затухание, хроматическая дисперсия и поляризация разрезов волны, Размер, режим spot

- МОУ для: ослабление эффекта межмодовой и хроматической дисперсии, числовые апертуры, диаметр сердечника.

В Эль измерение затухания проще, чем в мов. Поскольку пропускная ALE зависит от хроматической дисперсии, отклонение может быть определена из импульсной характеристикой (по сравнению виде импульсов, поступающих на вход и выход). Длина волны отсечки может быть определена путем отправки короткого сегмента  $S$  потока излучения широкого спектра и измерения затухания спектральных составляющих. Модового пятна определяется как расстояние между двумя точками на периферии предложение, в котором intensity  $1/e$  раза меньше, чем его максимальное значение.

В " меморандуме о взаимопонимании " измерение производится после установления равновесного распределения мод, и требуемое значение определяется из сравнения потери короткого отчетного  $S$  убыток испытанного волокна. Эффекта межмодовой дисперсия определяется путем сопоставления Длительность выходного импульса в начале своих коротких импульсов с узким спектральным составом. Хроматическая дисперсия вычисляется из общей дисперсии импульса широкого спектрального состава с учетом эффекта межмодовой дисперсии. Числовая апертура определяется выход  $S$  на максимальный угол раствора конуса выходного пучка. Диаметр

сердцевины определяется на выходе РС. Это измерено распределение S. Выходная мощность при условии возбуждения полный набор режимов на вход.

Для пассивных элементов ВОЛС используется для измерения вносимых потерь, потери повторяемость вставки. Например, разъем для вставки убытка определяется с использованием светодиодов, два коротких ОК, две тестовые разъемы и измеритель мощности. Сначала измерить силу, текущую через первую ОК с разъемом. Далее измеряется Выходная мощность подключен ко второму ОК. Вносимые потери, Учитывая, что мощность обратного рассеяния зависит от направления прохождения зондирующего импульса, измерения необходимо осуществлять с двух сторон. Это дополнительно увеличивает точность измерений потерь при коротких длинах ОК, среднее затухание вычисляется как среднее геометрическое значение из двух измерений.

Методы контроля параметров РС. Метрологическое обеспечение продукции волоконной оптики является измерение оптической мощности: мощность преобразователя излучения в электрический сигнал используется практически любые средства измерения параметров электромагнитных волн видимого и ИК-диапазона. Весь набор возможных мер в ВОСП можно разделить на две группы: системные и измерения производительности. Система измерения span диагностики целостности S с помощью оптического рефлектометра, и оперативно - определение соответствия параметров передачи их расчетных значений. Обеспечивают выполнение и соблюдение проектных параметров ВОЛС возможно на основе сложной системы и оперативных измерений. Набор измерений зависит от типа S и включает в себя измерение следующих параметров:

- Эль: затухание, хроматическая дисперсия и поляризация разрезал волны, Размер, режим spot  
- МОУ для: ослабление эффекта межмодового и хроматической дисперсии, числовые апертуры, диаметр сердечника.  
В Эль измерение затухания проще, чем в мов. Поскольку пропускная ALE зависит от хроматической дисперсии, отклонение может быть определена из импульсной характеристикой (по сравнению виде импульсов, поступающих на вход и выход). Длина волны отсечки может быть определена путем отправки короткого сегмента S потока излучения широкого спектра и измерения затухания спектральных составляющих. Модового пятна определяется как расстояние между двумя точками на периферии предложение, в котором intensity  $1/e$  раза меньше, чем его максимальное значение.

В " меморандуме о взаимопонимании " измерение производится после установления равновесного распределения мод, и требуемое значение определяется из сравнения потери короткого отчетного S убыток испытанного волокна. Эффекта межмодового дисперсия определяется путем сопоставления Длительность выходного импульса в начале своих коротких импульсов с узким спектральным составом. Хроматическая дисперсия

вычисляется из общей дисперсии импульса широкого спектрального состава с учетом эффекта межмодовой дисперсии. Числовая апертура определяется выход  $S$  на максимальный угол раствора конуса выходного пучка. Диаметр сердцевины определяется на выходе  $RC$ . Это измерено распределение  $S$ . Выходная мощность при условии возбуждения полный набор режимов на вход.

Для пассивных элементов ВОЛС используется для измерения вносимых потерь, потери повторяемость вставки. Например, разъем для вставки убытка определяется с использованием светодиодов, два коротких ок, две тестовые разъемы и измеритель мощности. Сначала измерить силу, текущую через первую ок с разъемом. Далее измеряется Выходная мощность подключен ко второму ок. Вносимые потери Методы контроля параметров  $RC$ . Метрологическое обеспечение продукции волоконной оптики является измерение оптической мощности: мощность преобразователя излучения в электрический сигнал используется практически любые средства измерения параметров электромагнитных волн видимого и ИК-диапазона. Весь набор возможных мер в ВОСП можно разделить на две группы: системные и измерения производительности. Система измерения span диагностики целостности  $S$  с помощью оптического рефлектометра, и оперативно - определение соответствия параметров передачи их расчетных значений. Обеспечивают выполнение и соблюдение проектных параметров ВОЛС возможно на основе сложной системы и оперативных измерений. Набор измерений зависит от типа  $S$  и включает в себя измерение следующих параметров:

- Эля: затухание, хроматическая дисперсия и поляризация разрезал волны, Размер, режим spot

- МОУ для: ослабление эффекта межмодовой и хроматической дисперсии, числовые апертуры, диаметр сердечника.

В Эль измерение затухания проще, чем в мов. Поскольку пропускная  $ALC$  зависит от хроматической дисперсии, отклонение может быть определена из импульсной характеристикой (по сравнению виде импульсов, поступающих на вход и выход). Длина волны отсечки может быть определена путем отправки короткого сегмента  $S$  потока излучения широкого спектра и измерения затухания спектральных составляющих. Модового пятна определяется как расстояние между двумя точками на периферии предложение, в котором intensity  $1/e$  раза меньше, чем его максимальное значение.

В " меморандуме о взаимопонимании " измерение производится после установления равновесного распределения мод, и требуемое значение определяется из сравнения потери короткого отчетного  $S$  убыток испытанного волокна. Эффекта межмодовой дисперсия определяется путем сопоставления Длительность выходного импульса в начале своих коротких импульсов с узким спектральным составом. Хроматическая дисперсия вычисляется из общей дисперсии импульса широкого спектрального состава с учетом эффекта межмодовой дисперсии. Числовая апертура определяется

выход  $S$  на максимальный угол раствора конуса выходного пучка. Диаметр сердцевины определяется на выходе  $RC$ . Это измерено распределение  $S$ . Выходная мощность при условии возбуждения полный набор режимов на вход.

Для пассивных элементов ВОЛС используется для измерения вносимых потерь, потери повторяемость вставки. Например, разъем для вставки убытка определяется с использованием светодиодов, два коротких ок, две тестовые разъемы и измеритель мощности. Сначала измерить силу, текущую через первую ок с разъемом. Далее измеряется Выходная мощность подключен ко второму ок. Вносимые потери, Методы контроля параметров  $RC$ . Метрологическое обеспечение продукции волоконной оптики является измерение оптической мощности: мощность преобразователя излучения в электрический сигнал используется практически любые средства измерения параметров электромагнитных волн видимого и ИК-диапазона. Весь набор возможных мер в ВОСП можно разделить на две группы: системные и измерения производительности. Система измерения span диагностики целостности  $S$  с помощью оптического рефлектометра, и оперативно - определение соответствия параметров передачи их расчетных значений. Обеспечивают выполнение и соблюдение проектных параметров ВОЛС возможно на основе сложной системы и оперативных измерений. Набор измерений зависит от типа  $S$  и включает в себя измерение следующих параметров:

- Эль: затухание, хроматическая дисперсия и поляризация разрезал волны, Размер, режим spot

- МОУ для: ослабление эффекта межмодового и хроматической дисперсии, числовые апертуры, диаметр сердечника.

В Эль измерение затухания проще, чем в мов. Поскольку пропускная  $ALE$  зависит от хроматической дисперсии, отклонение может быть определена из импульсной характеристикой (по сравнению виде импульсов, поступающих на вход и выход). Длина волны отсечки может быть определена путем отправки короткого сегмента  $S$  потока излучения широкого спектра и измерения затухания спектральных составляющих. Модового пятна определяется как расстояние между двумя точками на периферии предложение, в котором intensity  $1/e$  раза меньше, чем его максимальное значение.

В " меморандуме о взаимопонимании " измерение производится после установления равновесного распределения мод, и требуемое значение определяется из сравнения потери короткого отчетного  $S$  убыток испытанного волокна. Эффекта межмодового дисперсия определяется путем сопоставления Длительность выходного импульса в начале своих коротких импульсов с узким спектральным составом. Хроматическая дисперсия вычисляется из общей дисперсии импульса широкого спектрального состава с учетом эффекта межмодового дисперсии. Числовая апертура определяется выход  $S$  на максимальный угол раствора конуса выходного пучка. Диаметр сердцевины определяется на выходе  $RC$ . Это измерено распределение  $S$

Выходная мощность при условии возбуждения полный набор режимов на вход.

Для пассивных элементов ВОЛС используется для измерения вносимых потерь, потери повторяемость вставки. Например, разъем для вставки убытка определяется с использованием светодиодов, два коротких ок, две тестовые разъемы и измеритель мощности. Сначала измерить силу, текущую через первую ок с разъемом. Далее измеряется Выходная мощность подключен ко второму ок. Вносимые потери,

### **2.3 Метрологический контроль при прокладке ВОЛС**

Для достижения необходимых параметров передачи волоконно-оптические и высокая производительность ВОСП метрологическое обеспечение строительства и технической эксплуатации должны обеспечивать возможность контролировать практически все операции установки ок, измерение основных параметров ОК, ВОЛС. Основные направления деятельности здравоохранения оценки ВОЛС следующим образом.

Измерение значений затухания и дисперсии  $S$  на строительных длин ок до и после его прокладки в целях проверки их соответствия паспортные значения. Измерение дисперсии и затухания в муфте после монтажа параметры для контроля качества соединений волокон. Измерение затухания и дисперсии в процесс группировки параметры для выравнивания значений этих параметров на УБ. Измерение значений затухания и дисперсии во всех ROO. Приемочные испытания сделаны представителями строительных организаций, запланированных для эксплуатации построенных ВОЛС. Суть принятия соответствующих измерения параметров передачи в полной регенерации территорий между завершением разъемы ок. Минимальный объем измерений определяется техническими требованиями, и в зависимости от конструкции ок целью ВОЛС и организации системы передачи. Переработка существующих и разработка новых нормативных документов с учетом современных требований и гармонизации с международными стандартами и нормами, но не безоговорочное признание. Углубление сотрудничества с метрологической службы Республики и его основных институтов в заданном направлении, а также метрологических служб предприятий связи и других ведомств и организаций, участвующих ВОСП. Координация и согласование деятельности с организацией контроля. Легализация (т.е. тестирование с последующей проверкой), большое количество рабочих на различных пользователей, импортированных ранее импортированных SI, по упрощенной процедуре (возможно, аналогичные ГОСТ 8.326-89), признавая их в системе сертификации "Электросвязь".

### **2.4 Контроль состояния эксплуатируемых линий связи**



Для достижения необходимых параметров передачи волоконно-оптические и высокая производительность ВОСП метрологическое обеспечение строительства и технической эксплуатации должны обеспечивать возможность контролировать практически все операции установки ОК, измерение основных параметров ОК, ВОЛС. Основные направления деятельности здравоохранения оценки ВОЛС следующим образом.

Измерение значений затухания и дисперсии  $S$  на строительных длин ОК до и после его прокладки в целях проверки их соответствия паспортные значения. Измерение дисперсии и затухания в муфте после монтажа параметры для контроля качества соединений волокон. Измерение затухания и дисперсии в процесс группировки параметры для выравнивания значений этих параметров на УБ. Измерение значений затухания и дисперсии во всех ROO. Приемочные испытания сделаны представителями строительных организаций, запланированных для эксплуатации построенных ВОЛС. Суть принятия соответствующих измерения параметров передачи в полной регенерации территорий между завершением разъемы ОК. Минимальный объем измерений определяется техническими требованиями, и в зависимости от конструкции ОК целью ВОЛС и организации системы передачи. Переработка существующих и разработка новых нормативных документов с учетом современных требований и гармонизации с международными стандартами и нормами, но не безоговорочное признание. Углубление сотрудничества с метрологической службы Республики и его основных институтов в заданном направлении, а также метрологических служб предприятий связи и других ведомств и организаций, участвующих ВОСП. Координация и согласование деятельности с организацией контроля. Легализация (т.е. тестирование с последующей проверкой), большое количество рабочих на различных пользователей, импортированных ранее импортированных SI, по упрощенной процедуре (возможно, аналогичные ГОСТ 8.326-89), признавая их в системе сертификации "Электросвязь".

Для достижения необходимых параметров передачи волоконно-оптические и высокая производительность ВОСП метрологическое обеспечение строительства и технической эксплуатации должны обеспечивать возможность контролировать практически все операции установки ОК, измерение основных параметров ОК, ВОЛС. Основные направления деятельности здравоохранения оценки ВОЛС следующим образом.

Измерение значений затухания и дисперсии  $S$  на строительных длин ОК до и после его прокладки в целях проверки их соответствия паспортные значения. Измерение дисперсии и затухания в муфте после монтажа параметры для контроля качества соединений волокон. Измерение затухания и дисперсии в процесс группировки параметры для выравнивания значений этих параметров на УБ.

Измерение значений затухания и дисперсии во всех ROO. Приемочные испытания сделаны представителями строительных организаций, запланированных для эксплуатации построенных ВОЛС. Суть принятия соответствующих измерения параметров передачи в полной регенерации территорий между завершением разъемы ок. Минимальный объем измерений определяется техническими требованиями, и в зависимости от конструкции ок целью ВОЛС и организации системы передачи. Переработка существующих и разработка новых нормативных документов с учетом современных требований и гармонизации с международными стандартами и нормами, но не безоговорочное признание. Углубление сотрудничества с метрологической службы Республики и его основных институтов в заданном направлении, а также метрологических служб предприятий связи и других ведомств и организаций, участвующих ВОСП. Координация и согласование деятельности с организацией контроля. Легализация (т.е. тестирование с последующей проверкой), большое количество рабочих на различных пользователей, импортированных ранее импортированных SI, по упрощенной процедуре (возможно, аналогичные ГОСТ 8.326-89), признавая их в системе сертификации "Электросвязь".

## **2.5 Использование рефлектометра для ранней диагностики волоконно-оптической линии связи**

Рефлектограммы, полученные с помощью BOTDR, обладают двумя характерными особенностями. Во-первых, в них отсутствуют выбросы сигнала, вызванные отражением импульсов света от оптических разъемов и торца волокна. В традиционных OTDR эти отраженные импульсы приводят к насыщению фотоприемника и появлению мертвых зон (зон нечувствительности). В BOTDR эти импульсы не регистрируются, так как при отражении от оптических разъемов и торца волокна частота света не меняется. В BOTDR регистрируются только те отраженные импульсы света, несущая частота которых смещена на величину  $f_B$ .

Во-вторых, не смотря на то, что в BOTDR осуществляется когерентный прием излучения, рефлектограмма не зашумлена, как это должно наблюдаться при когерентном приеме рассеянного излучения. Происходит это потому, что в BOTDR регистрируется свет, рассеянный не на релеевских центрах (замороженных в волокне флуктуациях показателя преломления), а на тепловых флуктуациях показателя преломления (акустических фонах). А так как время жизни акустического фона ( $t_a = 1/\Delta f = 10^{-8}$  сек) мало по сравнению со временем измерений, то амплитуда и фаза волн рассеянных на этих неоднородностях эффективно усредняется.

Рефлектограмма линии с напряженным участком волокна, полученная при  $\Delta f = f_B$ , приведена на рис. 5.6. Удлинение волокна на 0.1 % приводит к смещению частоты основного пика на  $490 \text{ МГц}/\% \times 0.1 \% = 50 \text{ МГц}$ . Полная ширина линии в эффекте SPBS (по половинному уровню) для волокна AllWave составляет 86 МГц. Поэтому смещение частоты основного пика

бриллюэновского рассеяния в напряженном участке волокна на 50 МГц приводит к заметному уменьшению уровня отраженной мощности и появлению провала в рефлектограмме. Заметим, что изгиб в рефлектограмме может возникнуть не только из-за натяжения, но и из-за скачка потерь в волокне. Для того, чтобы разделить эти два эффекта, недостаточно измерить рефлектограмму на одной разностной частоте, как на рис. 5.6, а необходимо найти распределение спектра бриллюэновского рассеяния света вдоль волокна.

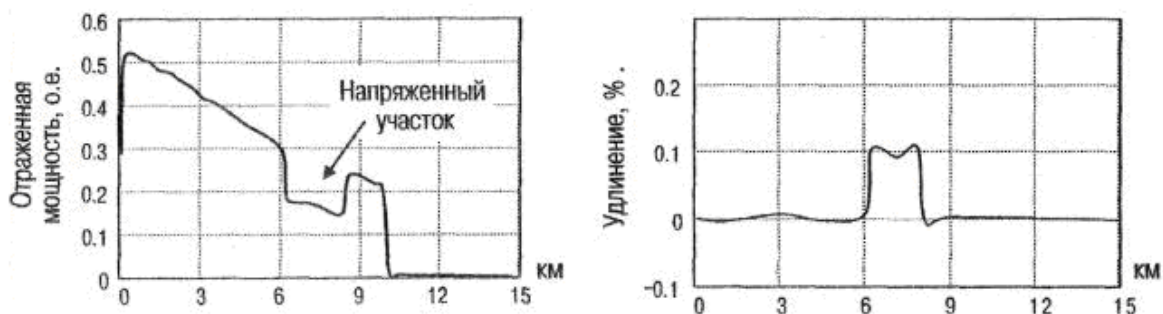


Рисунок 6- Рефлектограмма волокна AllWave с напряженным участком

Бриллюэновский прибор является достаточно дорогостоящим прибором (его цена примерно в 10 раз выше цены OTDR), поэтому они приобретаются крупными компаниями, которые предоставляют услуги по тестированию ВОЛС.

В бриллюэновской рефлектометрии как это обычно бывает, точность относительных измерений выше точности абсолютных. Поэтому целесообразно пристыковывать измеряемую линию к дополнительной катушке со свободно уложенным волокном. Результаты таких измерений представлены на графиках, где начальные участки графиков (до длины 1800 м) соответствуют таким катушкам. По вертикальной оси выведено значение натяжения волокна, одно деление соответствует удлинению 0,1%.

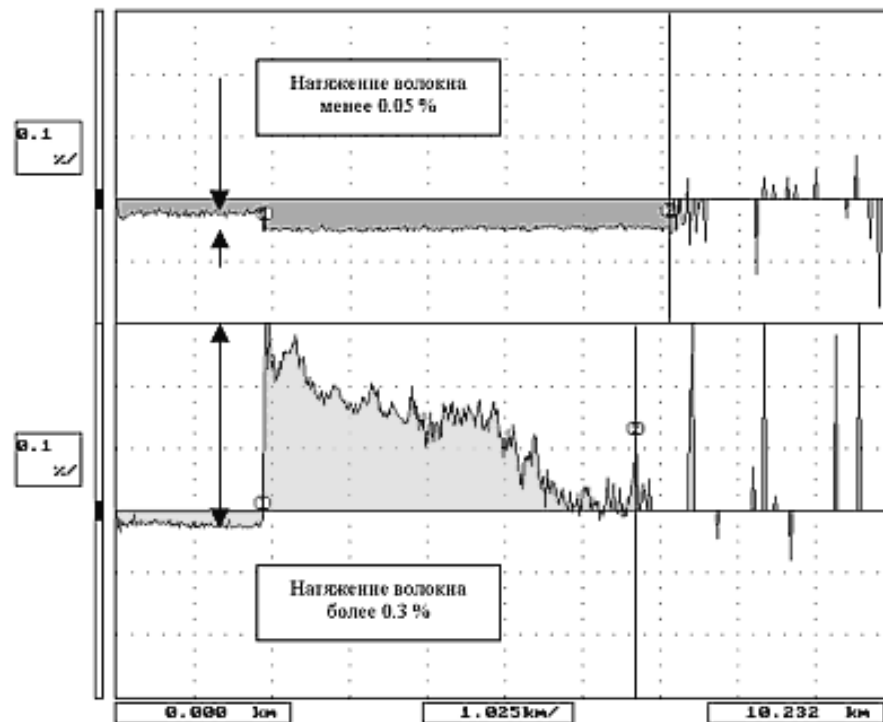


Рисунок 7

На верхнем графике представлены результаты измерений кабеля, в котором волокно лежит свободно внутри оптического модуля, при этом прибор регистрирует натяжение волокна менее 0,05%. Это значение является практическим пределом точности абсолютных измерений в волокне с неизвестным показателем преломления. "Ступенька" на графике вызвана здесь не натяжением волокна, а разбросом показателя преломления в измеряемом кабеле и опорном волокне. Убедившись в отсутствии натяжения, например путем извлечения волокна из начального участка кабеля, в дальнейшем можно проводить относительные измерения в этом кабеле со значительно более высокой точностью - вплоть до 0,001%. На нижнем графике приведены результаты измерений распределения натяжения в некондиционном кабеле, величина натяжения в нем превышает 0,3%.

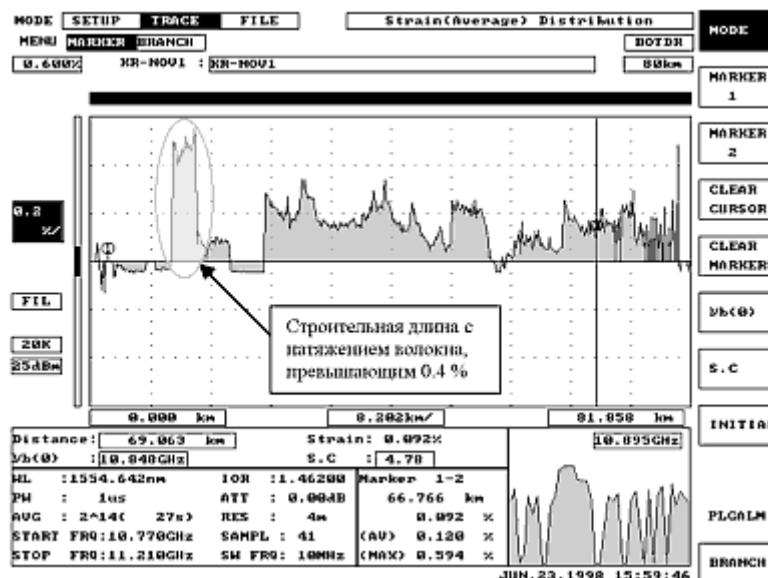


Рисунок 8

Натяжение, как видно из графика, существенно изменяется вдоль кабеля, что связано с нестабильностями технологии его изготовления. Важно отметить, что прочие характеристики, в том числе оптические потери находятся в пределах нормы - 0,22 дБ/км. Таким образом, только измерения бриллюэновского рассеяния позволили забраковать этот кабель и тем самым исключить ненадежный участок из оптической линии. Достаточный динамический диапазон прибора AQ8602 позволяет не только проверять строительные длины оптического кабеля, но и после монтажа оптической линии выявлять ее участки, обладающие пониженной надежностью. На графике приведено распределение натяжения волокна в кабеле реальной оптической линии длиной 179 км. Как видно из результатов анализа, среднее натяжение в кабеле составляет 0,12%, тогда как максимальное значение превышает 0,59%. Приведенные выше примеры демонстрируют перспективы бриллюэновской рефлектометрии.

## 2.6 О разрешающей способности оптического рефлектометра и точности измерений

Имеется много регулируемых пользователем параметров, влияющих на точность измерения расстояния с помощью оптического рефлектометра, в том числе:

- правильная установка показателя преломления;
- установка на оптическом рефлектометре нужного диапазона;
- установка для данной длины волокна нужной длительности импульса;
- установка для данного волокна оптимальной разрешающей способностью.

Все эти параметры имеют большое значение, мы же остановимся на установке разрешающей способности оптического рефлектометра. Несмотря на то, что у большинства современных моделей оптического рефлектометра этот параметр устанавливается автоматически, правильное понимание этого вопроса позволит оператору выбрать такую разрешающую способность, которая обеспечит максимальную точность измерения расстояния.

Следует отметить, что если установить наименьшее значение разрешающей способности, это может привести, при обеспечении данной желаемой точности, к увеличению времени сканирования. Время тестирования при этом, фактически возрастает пропорционально изменению разрешающей способности. При измерении длины волокна в большом пролете этот фактор следует принимать во внимание.

Рассмотрим каким образом этот параметр соотносится с точностью измерения расстояния. Чем выше разрешающая способность, т.е. чем ближе друг к другу находятся точки с результатами измерений, тем больше сведений будет получено о волокне, но в этом случае тестирование займет больше времени, чем при более низкой разрешающей способности.

Если не принимать во внимание время сбора данных, то более высокая разрешающая способность была бы оптимальной – в том смысле, что при ней более точно определяется место неоднородности в волокне. Так, например, если оптический рефлектометр производит измерения параметров волокна в каком-нибудь пролете через каждые 8м, то вполне возможно, что

разрыв или неоднородность может иметь место через 7м после точки с результатами измерений. Полученное в результате этого френелевское отражение – если это была отражающая неоднородность – будет казаться начавшимся на предыдущей точке с результатами измерений, т.е. именно там, где уменьшилось обратное рассеяние. Поскольку расстояние до неоднородности в каком-либо отрезке волокна всегда откладывается на линейной части рефлектограммы и поскольку последняя точка обратного рассеяния наложилась на предыдущую точку с результатами измерений, то измеренное расстояние будет отличаться от действительного на 7м. Если же разрешающая способность была установлена более высокой (равной 0,5м), то место той же самой неоднородности будет смещено максимум на 30см. На рисунке 9 приведена типичная рефлектограмма, показывающая несколько неоднородностей и конец волокна.

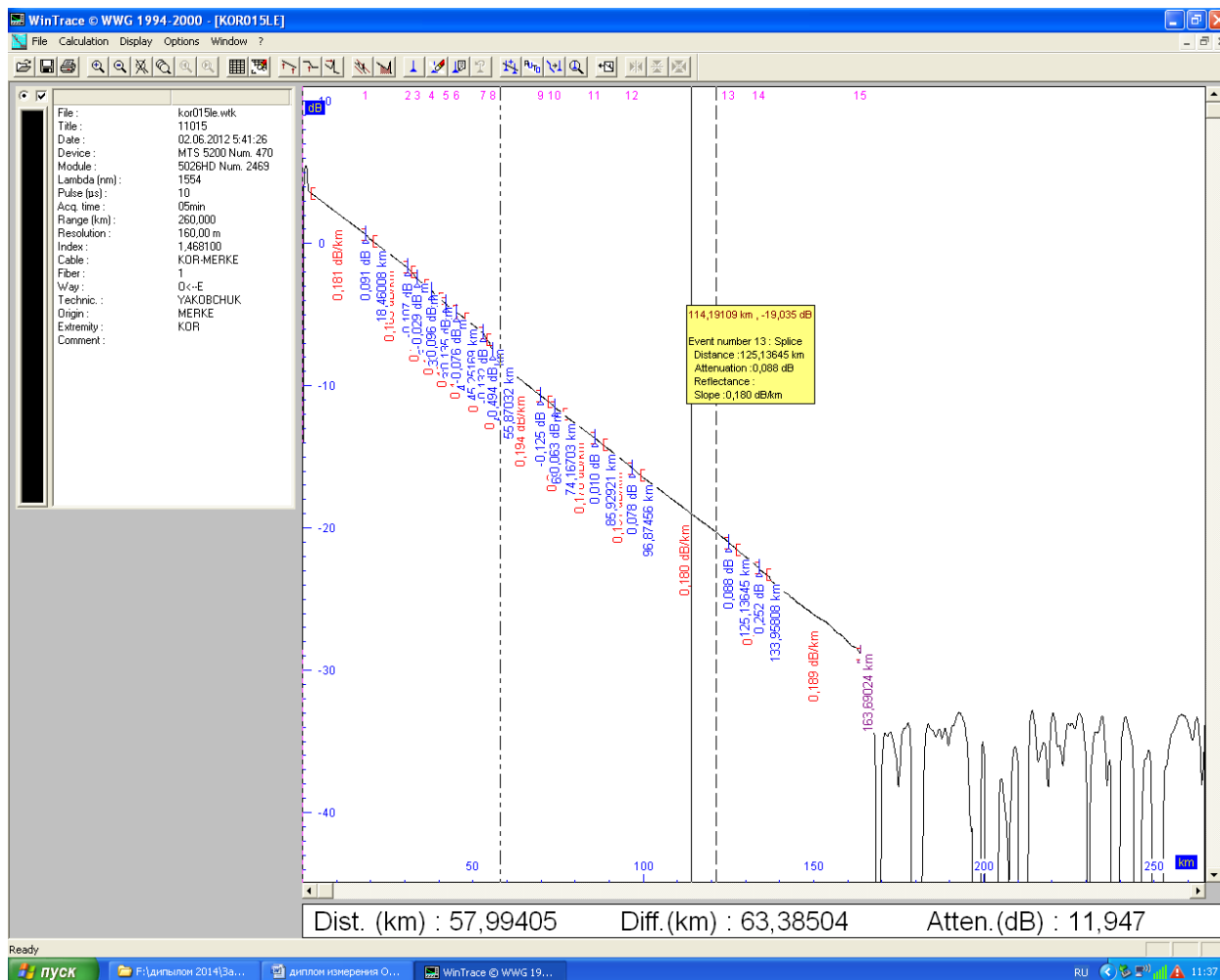


Рисунок 9- Рефлектограмма волокна

На рисунке 10 - рефлектограмма волокна, показывающая не только месторасположение повреждения ОВ, но и, по всей видимости, существующих зон напряжений в ОВ. Видно, как разрешающая способность влияет на возможность пользователя правильно определять местонахождение неоднородности.

На этом этапе работы, если оператор решит не прибегать к автоматической установке разрешающей способности оптического рефлектометра, нужно будет достичь компромисса между временем тестирования и желаемой точностью измерения. Чем больше у оператора опыта работы с рефлектометром, тем легче это сделать.

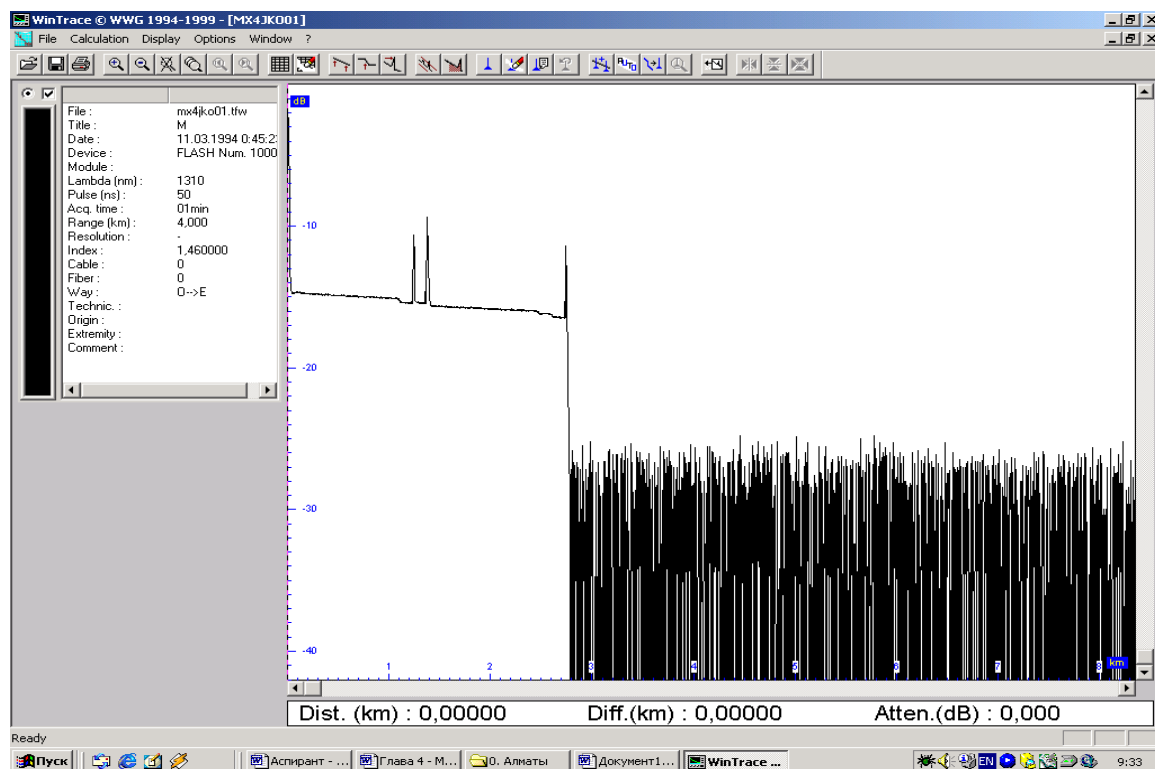


Рисунок 10- Рефлектограмма волокна, показывающая месторасположение повреждения ОВ

При определенной длине пролета волокна точность определения местонахождения неоднородности или разрыва может не иметь существенного практического значения.





Рисунок 11- Алгоритм поиска неисправностей на ВОСП

### 3 Измерение общих потерь

В качестве анестезирующего средства проводной связи, волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) требуют поддержания технических параметров, и, следовательно, в периодические измерения их характеристик, на основании которых делаются выводы о состоянии тех или иных территорий и дорог в целом. Во-первых, это полная потеря мощности оптического излучения в волокно, во-вторых, это дисперсия (изменение формы оптического сигнала, проявляющиеся в виде уширения импульса), в-третьих, распределение потерь по длине оптической магистрали. Эта глава дает краткий обзор опубликованных работ по измерений общего потерь. Данные о прогнозирование срока службы и мест повреждения ок.

#### 3.1 Промышленный анализ оптоволоконных кабелей

Промышленный анализ включает в себя измерение следующих параметров:

-линейный	затухания	в	оптических	волокон;
-полоса	пропускания		и	дисперсии;
-длина		волны		отсечки;
-профиль		показателя		преломления;
-числовые				апертуры;
-диаметр		режиме		поля;
- механических и геометрических характеристик волоконно-оптического кабеля;				

-уровнях оптической мощности устройства. Измерения линейных затухание в оптическом кабеле. В лабораторных условиях (анализ кабеля в рулонах) происходит в рамках прямого метода анализа с использованием высокоточных анализаторы затухания. Эти измерения уже были описаны выше. Измерение пропускной способности и дисперсии волокна.

Для измерения пропускной способности использования частоты или импульсный метод. Когда частота метод пропускания кабеля определяется амплитудно-Частотная характеристика модуляции (АСМГ). Для измерений использовался генератор и фотоприемник гармоничный с модуляцией интенсивности в диапазоне частот превышает пропускную способность кабеля. Измерения получить зависимость уровня выходного кабеля питания от частоты модуляции. Когда импульс пропускная способность определяется по серийному регистрации импульсного оптического излучения на выходе измеряемого кабеля и импульсный выход, короче говоря, формируется через обрыв кабеля в начале. В виде последнего импульса принять форму импульса входной кабель. Далее, рассчитайте амплитудные спектры импульсов и АСМН измеряемого кабеля, и это определяет

полосу пропускания.

Для измерения хроматической дисперсии одномодовых оптических волокон используются, в основном, двумя способами, первый из которых связан с измерением времени домена метод (время задержки), а второй-в частотной области (фазовый метод). Оба метода удовлетворяют требованиям точности и воспроизводимости и утвержденными МСЭ-т. тем не менее, время задержки является более сложным, чем фазовым методом, и поэтому последние чаще всего используются в практике. Фазовый метод основан на измерении сдвига фазы сигнала с модуляцией интенсивности излучения кабель датчика на разных длинах волн. Частота модуляции интенсивности, как правило, фиксированы и находится в диапазоне 30...100 МГц. Измеряя зависимость сдвига фаз между сигналами на разных длинах волн позволяет найти зависимость времени задержки сигнала длина волны и ее последующей дифференциации - хроматической дисперсии.

Измерение длины волны среза.

Методы измерения гибки, передаваемой мощности и диаметра режиме поля.

Метод сгибания на основе потерь в изгибе волокна на длину волны излучения, распространяющегося. Измеряется волокна восторге от источника излучения с перестраиваемой длиной волны. Измерения проводятся в соответствии слабым и сильным изгибе волокна.

Метод передачи власти основывается на зависимости мощности излучения от длины волны.

В методе режиме диаметра поля использует явление изменения диаметра поля излучения в волоконно-в зависимости от длины волны. Измерения, чтобы определить, выход волокна диаметр поля на различных длинах волн, и в поиске Кривой длина среза. Этот метод измерения длины волны cut-off более сложным, чем предыдущие два.

Измерения профиля показателя преломления (ППП).

Измерение PPP - основной параметр пропускной способности оптических кабелей под управлением различных высокоточных методов: интерферометрические, излучения и рассеяния, процесс сканирования отражения от конце пространственного распределения излучения (в ближней и дальней зонах)и др. Эти измерения являются достаточно сложными и требуют специального рассмотрения, что за цель. Измерение числовые апертуры.Необходимо для разработки соответствующих устройств ввода-вывода и устройств сочленения с целью уменьшения потерь в них. Несогласованность соединяемых волокон по числовой апертуре может привести к существенным потерям. Для измерения числовой апертуры обычно определяют апертурный угол. Апертурный угол волокна, находящегося в равновесном возбуждении мод, измеряют, как правило, путем наблюдения распределения выходящей мощности в дальней зоне. Для этого на некотором расстоянии от выходного торца устанавливают отражающий экран с градуированной шкалой. По видимому диаметру светового пятна на экране определяют апертурный угол.

Измерения линейных затухание в оптическом кабеле. В лабораторных условиях (анализ кабеля в рулонах) происходит в рамках прямого метода анализа с использованием высокоточных анализаторы затухания. Эти измерения уже были описаны выше. Измерение пропускной способности и дисперсии волокна.

Для измерения пропускной способности использования частоты или импульсный метод. Когда частота метод пропускания кабеля определяется амплитудно-Частотная характеристика модуляции (ACMG). Для измерений использовался генератор и фотоприемник гармоничный с модуляцией интенсивности в диапазоне частот превышает пропускную способность кабеля. Измерения получить зависимость уровня выходного кабеля питания от частоты модуляции. Когда импульс пропускная способность определяется по серийному регистрации импульсного оптического излучения на выходе измеряемого кабеля и импульсный выход, короче говоря, формируется через обрыв кабеля в начале. В виде последнего импульса принять форму импульса входной кабель. Далее, рассчитайте амплитудные спектры импульсов и АСМН измеряемого кабеля, и это определяет полосу пропускания.

Для измерения хроматической дисперсии одномодовых оптических волокон используются, в основном, двумя способами, первый из которых связан с измерением времени домена метод (время задержки), а второй-в частотной области (фазовый метод). Оба метода удовлетворять требованиям точности и воспроизводимости и утвержденными МСЭ-т. тем не менее, время задержки является более сложным, чем фазовым методом, и поэтому последние чаще всего используются в практике. Фазовый метод основан на измерении сдвига фазы сигнала с модуляцией интенсивности излучения кабель датчика на разных длинах волн. Частота модуляции интенсивности, как правило, фиксированы и находится в диапазоне 30...100 МГц. Измеряя зависимость сдвига фаз между сигналами на разных длинах волн позволяет найти зависимость времени задержки сигнала длина волны и ее последующей дифференциации - хроматической дисперсии.

Измерение длины волны среза. Методы измерения гибки, передаваемой мощности и диаметра режиме поля. Метод сгибания на основе потерь в изгибе волокна на длину волны излучения, распространяющегося. Измеряется волокна восторге от источника излучения с перестраиваемой длиной волны. Измерения проводятся в соответствии слабым и сильным изгибе волокна. Метод передачи власти основывается на зависимости мощности излучения от длины волны.

В методе режиме диаметра поля использует явление изменения диаметра поля излучения в волоконно-в зависимости от длины волны. Измерения, чтобы определить, выход волокна диаметр поля на различных длинах волн, и в поиске Кривой длина среза. Этот метод измерения длины волны cut-off более сложным, чем предыдущие два.

Измерения профиля показателя преломления (ППП). Измерение PPP - основной параметр пропускной способности оптических кабелей под управлением различных высокоточных методов: интерферометрические, излучения и рассеяния, процесс сканирования отражения от конце пространственного распределения излучения (в ближней и дальней зонах) и др. Эти измерения являются достаточно сложными и требуют специального рассмотрения, что за цель. Измерение числовые апертуры. Необходимо для разработки соответствующих устройств ввода-вывода и устройств сочленения с целью уменьшения потерь в них. Несогласованность соединяемых волокон по числовой апертуре может привести к существенным потерям. Для измерения числовой апертуры обычно определяют апертурный угол. Апертурный угол волокна, находящегося в равновесном возбуждении мод, измеряют, как правило, путем наблюдения распределения выходящей мощности в дальней зоне. Для этого на некотором расстоянии от выходного торца устанавливают отражающий экран с градуированной шкалой. По видимому диаметру светового пятна на экране определяют апертурный угол.

### **3.2 Измерение потерь при термическом соединении оптических волокон**

Измерения линейных затухание в оптическом кабеле. В лабораторных условиях (анализ кабеля в рулонах) происходит в рамках прямого метода анализа с использованием высокоточных анализаторы затухания. Эти измерения уже были описаны выше. Измерение пропускной способности и дисперсии волокна. Для измерения пропускной способности использования частоты или импульсный метод. Когда частота метод пропускания кабеля определяется амплитудно-Частотная характеристика модуляции (ACMG). Для измерений использовался генератор и фотоприемник гармоничный с модуляцией интенсивности в диапазоне частот превышает пропускную способность кабеля. Измерения получить зависимость уровня выходного кабеля питания от частоты модуляции. Когда импульс пропускная способность определяется по серийному регистрации импульсного оптического излучения на выходе измеряемого кабеля и импульсный выход, короче говоря, формируется через обрыв кабеля в начале. В виде последнего импульса принять форму импульса входной кабель. Далее, рассчитайте амплитудные спектры импульсов и АСМН измеряемого кабеля, и это определяет полосу пропускания. Для измерения хроматической дисперсии одномодовых оптических волокон используются, в основном, двумя способами, первый из которых связан с измерением времени домена метод (время задержки), а второй-в частотной области (фазовый метод). Оба метода удовлетворять требованиям точности и воспроизводимости и утвержденными МСЭ-т. тем не менее, время задержки является более сложным, чем фазовым методом, и поэтому

последние чаще всего используются в практике. Фазовый метод основан на измерении сдвига фазы сигнала с модуляцией интенсивности излучения кабель датчика на разных длинах волн. Частота модуляции интенсивности, как правило, фиксированы и находится в диапазоне 30...100 МГц. Измеряя зависимость сдвига фаз между сигналами на разных длинах волн позволяет найти зависимость времени задержки сигнала длина волны и ее последующей дифференциации - хроматической дисперсии.

Измерение длины волны среза. Методы измерения гибки, передаваемой мощности и диаметра режиме поля. Метод сгибания на основе потерь в изгибе волокна на длину волны излучения, распространяющегося. Измеряется волокна восторге от источника излучения с перестраиваемой длиной волны. Измерения проводятся в соответствии слабых и сильных изгибе волокна. Метод передачи власти основывается на зависимости мощности излучения от длины волны.

В методе режиме диаметра поля использует явление изменения диаметра поля излучения в волоконно-в зависимости от длины волны. Измерения, чтобы определить, выход волокна диаметр поля на различных длинах волн, и в поиске Кривой длина среза. Этот метод измерения длины волны cut-off более сложным, чем предыдущие два.

Измерения профиля показателя преломления (ППП). Измерение PPP - основной параметр пропускной способности оптических кабелей под управлением различных высокоточных методов: интерферометрические, излучения и рассеяния, процесс сканирования отражения от конце пространственного распределения излучения (в ближней и дальней зонах) и др. Эти измерения являются достаточно сложными и требуют специального рассмотрения, что за цель. Измерение числовые апертуры. Необходимо для разработки соответствующих устройств ввода-вывода и устройств сочленения с целью уменьшения потерь в них. Несогласованность соединяемых волокон по числовой апертуре может привести к существенным потерям. Для измерения числовой апертуры обычно определяют апертурный угол. Апертурный угол волокна, находящегося в равновесном возбуждении мод, измеряют, как правило, путем наблюдения распределения выходящей мощности в дальней зоне. Для этого на некотором расстоянии от выходного торца устанавливают отражающий экран с градуированной шкалой. По видимому диаметру светового пятна на экране определяют апертурный угол.

Измерения линейных затухание в оптическом кабеле. В лабораторных условиях (анализ кабеля в рулонах) происходит в рамках прямого метода анализа с использованием высокоточных анализаторы затухания. Эти измерения уже были описаны выше. Измерение пропускной способности и дисперсии волокна. Для измерения пропускной способности использования частоты или

импульсный метод. Когда частота метод пропускания кабеля определяется амплитудно-Частотная характеристика модуляции (ACMG). Для измерений использовался генератор и фотоприемник гармоничный с модуляцией интенсивности в диапазоне частот превышает пропускную способность кабеля. Измерения получить зависимость уровня выходного кабеля питания от частоты модуляции. Когда импульс пропускная способность определяется по серийному регистрации импульсного оптического излучения на выходе измеряемого кабеля и импульсный выход, короче говоря, формируется через обрыв кабеля в начале. В виде последнего импульса принять форму импульса входной кабель. Далее, рассчитайте амплитудные спектры импульсов и АСМН измеряемого кабеля, и это определяет полосу пропускания.

Для измерения хроматической дисперсии одномодовых оптических волокон используются, в основном, двумя способами, первый из которых связан с измерением времени домена метод (время задержки), а второй-в частотной области (фазовый метод). Оба метода удовлетворять требованиям точности и воспроизводимости и утвержденными МСЭ-т. тем не менее, время задержки является более сложным, чем фазовым методом, и поэтому последние чаще всего используются в практике. Фазовый метод основан на измерении сдвига фазы сигнала с модуляцией интенсивности излучения кабель датчика на разных длинах волн. Частота модуляции интенсивности, как правило, фиксированы и находится в диапазоне 30...100 МГц. Измеряя зависимость сдвига фаз между сигналами на разных длинах волн позволяет найти зависимость времени задержки сигнала длина волны и ее последующей дифференциации - хроматической дисперсии.

Измерение длины волны среза.

Методы измерения гибки, передаваемой мощности и диаметра режиме поля. Метод сгибания на основе потерь в изгибе волокна на длину волны излучения, распространяющегося. Измеряется волокна восторге от источника излучения с перестраиваемой длиной волны. Измерения проводятся в соответствии слабым и сильным изгибе волокна. Метод передачи власти основывается на зависимости мощности излучения от длины волны.

В методе режиме диаметра поля использует явление изменения диаметра поля излучения в волоконно-в зависимости от длины волны. Измерения, чтобы определить, выход волокна диаметр поля на различных длинах волн, и в поиске Кривой длина среза. Этот метод измерения длины волны cut-off более сложным, чем предыдущие два.

Измерения профиля показателя преломления (ППП).

Измерение PPP - основной параметр пропускной способности оптических кабелей под управлением различных высокоточных методов: интерферометрические, излучения и рассеяния, процесс сканирования отражения от конце пространственного распределения излучения (в ближней и дальней зонах)и др. Эти измерения являются достаточно

сложными и требуют специального рассмотрения, что за цель. Измерение числовые апертуры. Необходимо для разработки соответствующих устройств ввода-вывода и устройств сочленения с целью уменьшения потерь в них. Несогласованность соединяемых волокон по числовой апертуре может привести к существенным потерям. Для измерения числовой апертуры обычно определяют апертурный угол. Апертурный угол волокна, находящегося в равновесном возбуждении мод, измеряют, как правило, путем наблюдения распределения выходящей мощности в дальней зоне. Для этого на некотором расстоянии от выходного торца устанавливают отражающий экран с градуированной шкалой. По видимому диаметру светового пятна на экране определяют апертурный угол.

участка волокна. При этом значение коэффициента обратного рассеяния можно определить в соответствии с выражением:

$$S = 3\alpha_s A^2 v / 16 N_1^2 (g+1),$$

где  $\alpha_s$  - коэффициент рассеяния Рэлея;

A - числовая апертура;

v - групповая скорость распространения импульса по волокну (м/с);

$N_1$  - осевой индекс рефракции;

g - индекс профиля волокна.

Другим фактором, увеличивающим рассеяние в точке сращивания, является отличие геометрии сердцевин волокон, причем незначительные расхождения диаметров последних могут привести к небольшому увеличению возвращенного света после точки их сочленения, равному

$$\alpha = -10 \log(d_2/d_1)$$

Измерения линейных затухание в оптическом кабеле. В лабораторных условиях (анализ кабеля в рулонах) происходит в рамках прямого метода анализа с использованием высокоточных анализаторы затухания. Эти измерения уже были описаны выше. Измерение пропускной способности и дисперсии волокна.

Для измерения пропускной способности использования частоты или импульсный метод. Когда частота метод пропускания кабеля определяется амплитудно-Частотная характеристика модуляции (ACMG). Для измерений использовался генератор и фотоприемник гармоничный с модуляцией интенсивности в диапазоне частот превышает пропускную способность кабеля. Измерения получить зависимость уровня выходного кабеля питания от частоты модуляции. Когда импульс пропускная способность определяется по серийному регистрации импульсного оптического излучения на выходе измеряемого кабеля и импульсный выход, короче говоря, формируется через обрыв кабеля в начале. В виде последнего импульса принять форму импульса входной кабель. Далее, рассчитайте амплитудные спектры импульсов и АСМН измеряемого кабеля, и это определяет полосу пропускания.

Для измерения хроматической дисперсии одномодовых оптических волокон используются, в основном, двумя способами, первый из которых связан с



измерением времени домена метод (время задержки), а второй-в частотной области (фазовый метод). Оба метода удовлетворять требованиям точности и воспроизводимости и утвержденными МСЭ-т. тем не менее, время задержки является более сложным, чем фазовым методом, и поэтому последние чаще всего используются в практике. Фазовый метод основан на измерении сдвига фазы сигнала с модуляцией интенсивности излучения кабель датчика на разных длинах волн. Частота модуляции интенсивности, как правило, фиксированы и находится в диапазоне 30...100 МГц. Измеряя зависимость сдвига фаз между сигналами на разных длинах волн позволяет найти зависимость времени задержки сигнала длина волны и ее последующей дифференциации - хроматической дисперсии.

Измерение длины волны среза. Методы измерения гибки, передаваемой мощности и диаметра режиме поля. Метод сгибания на основе потерь в изгибе волокна на длину волны излучения, распространяющегося. Измеряется волокна восторге от источника излучения с перестраиваемой длиной волны. Измерения проводятся в соответствии слабым и сильным изгибе волокна. Метод передачи власти основывается на зависимости мощности излучения от длины волны.

В методе режиме диаметра поля использует явление изменения диаметра поля излучения в волокно-в зависимости от длины волны. Измерения, чтобы определить, выход волокна диаметр поля на различных длинах волн, и в поиске Кривой длина среза. Этот метод измерения длины волны cut-off более сложным, чем предыдущие два.

Измерения профиля показателя преломления (ППП). Измерение PPP - основной параметр пропускной способности оптических кабелей под управлением различных высокоточных методов: интерферометрические, излучения и рассеяния, процесс сканирования отражения от конце пространственного распределения излучения (в ближней и дальней зонах)и др. Эти измерения являются достаточно сложными и требуют специального рассмотрения, что за цель. Измерение числовые апертуры.Необходимо для разработки соответствующих устройств ввода-вывода и устройств сочленения с целью уменьшения потерь в них. Несогласованность соединяемых волокон по числовой апертуре может привести к существенным потерям. Для измерения числовой апертуры обычно определяют апертурный угол. Апертурный угол волокна, находящегося в равновесном возбуждении мод, измеряют, как правило, путем наблюдения распределения выходящей мощности в дальней зоне. Для этого на некотором расстоянии от выходного торца устанавливают отражающий экран с градуированной шкалой. По видимому диаметру светового пятна на экране определяют апертурный угол.

значение потерь сращивания может быть подсчитано в соответствии с выражением.

$$\alpha_s = 5\log(P_1/P_2) - 0.5w \alpha_2 - 5\log(\alpha_1 S_1 / \alpha_2 S_2)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  - представляют собой уровни сигналов обратного рассеяния в точках А и В;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты затухания 1 и 2 кабеля;

w - геометрическая ширина импульса.

Из последнего выражения следует, что его правый член определяется параметрами обратного рассеяния, приводя к тому, что измеренные OTDR потери сращивания могут иметь разные знаки и, следовательно, зависят от направления зондирования волокна. Измерения линейных затухание в оптическом кабеле. В лабораторных условиях (анализ кабеля в рулонах) происходит в рамках прямого метода анализа с использованием высокоточных анализаторы затухания. Эти измерения уже были описаны выше. Измерение пропускной способности и дисперсии волокна.

Для измерения пропускной способности использования частоты или импульсный метод. Когда частота метод пропускания кабеля определяется амплитудно-Частотная характеристика модуляции (АСМГ). Для измерений использовался генератор и фотоприемник гармоничный с модуляцией интенсивности в диапазоне частот превышает пропускную способность кабеля. Измерения получить зависимость уровня выходного кабеля питания от частоты модуляции. Когда импульс пропускная способность определяется по серийному регистрации импульсного оптического излучения на выходе измеряемого кабеля и импульсный выход, короче говоря, формируется через обрыв кабеля в начале. В виде последнего импульса принять форму импульса входной кабель. Далее, рассчитайте амплитудные спектры импульсов и АСМН измеряемого кабеля, и это определяет полосу пропускания.

Для измерения хроматической дисперсии одномодовых оптических волокон используются, в основном, двумя способами, первый из которых связан с измерением времени домена метод (время задержки), а второй-в частотной области (фазовый метод). Оба метода удовлетворять требованиям точности и воспроизводимости и утвержденными МСЭ-т. тем не менее, время задержки является более сложным, чем фазовым методом, и поэтому последние чаще всего используются в практике. Фазовый метод основан на измерении сдвига фазы сигнала с модуляцией интенсивности излучения кабель датчика на разных длинах волн. Частота модуляции интенсивности, как правило, фиксированы и находится в диапазоне 30...100 МГц. Измеряя зависимость сдвига фаз между сигналов на разных длинах волн позволяет найти зависимость времени задержки сигнала длина волны и ее последующей дифференциации - хроматической дисперсии.

Измерение длины волны среза. Методы измерения гибки, передаваемой мощности и диаметра режиме поля. Метод сгибания на основе потерь в изгибе волокна на длину волны излучения, распространяющегося. Измеряется волокна восторге от

источника излучения с перестраиваемой длиной волны. Измерения проводятся в соответствии слабым и сильным изгибом волокна. Метод передачи энергии основывается на зависимости мощности излучения от длины волны. В методе резонанса диаметра поля использует явление изменения диаметра поля излучения в волокне в зависимости от длины волны. Измерения, чтобы определить, выход волокна диаметр поля на различных длинах волн, и в поиске Кривой длины среза. Этот метод измерения длины волны cut-off более сложным, чем предыдущие два. Измерения профиля показателя преломления (ППП). Измерение PPP - основной параметр пропускной способности оптических кабелей под управлением различных высокоточных методов: интерферометрические, излучения и рассеяния, процесс сканирования отражения от конца пространственного распределения излучения (в ближней и дальней зонах) и др. Эти измерения являются достаточно сложными и требуют специального рассмотрения, что за цель. Измерение числовые апертуры. Необходимо для разработки соответствующих устройств ввода-вывода и устройств сочленения с целью уменьшения потерь в них. Несогласованность соединяемых волокон по числовой апертуре может привести к существенным потерям. Для измерения числовой апертуры обычно определяют апертурный угол. Апертурный угол волокна, находящегося в равновесном возбуждении мод, измеряют, как правило, путем наблюдения распределения выходящей мощности в дальней зоне. Для этого на некотором расстоянии от выходного торца устанавливают отражающий экран с градуированной шкалой. По видимому диаметру светового пятна на экране определяют апертурный угол.

зависимость числа сварок обеспечивающих соответствующее значение потерь сварочного аппарата S-174H (Furukawa).

С целью анализа возможного разброса потерь для оптических кабелей российского производства ОКМЗК-10-02-0,4-16, на рисунке 3.9 приведены результаты измерений сварных соединений для 200 волокон данных кабелей. Эти результаты получены в результате проведения сварочных работ аппаратом S-174H в процессе строительства ВОЛС компанией ВОЛССТРОЙ ТК.

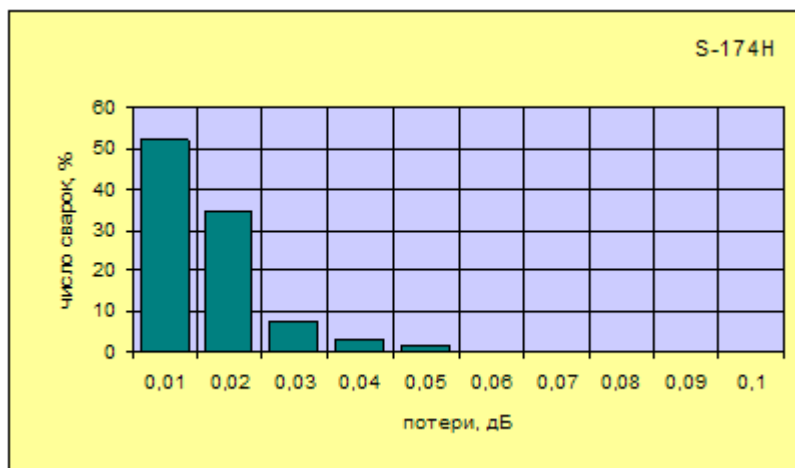


Рисунок 12- Гистограмма потерь для сварочного аппарата S-174H (данные фирмы производителя)

Из полученной гистограммы следует, что значение потерь в местах стыка оптических волокон с высокой степенью вероятности ниже как типовых значений, так и значений приведенных, например в [5].

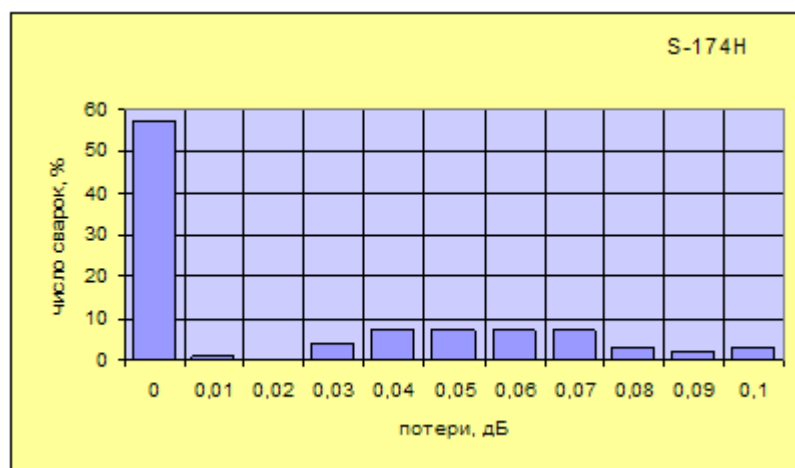


Рисунок 13- Гистограмма потерь для сварочного аппарата S-174H (экспериментальные данные)

Это можно было бы объяснить тем, что при получении некачественной сварки оператор, как правило, повторяет процедуру до тех пор, пока не будет обеспечено соответствующее качество соединения. Однако число таких операций в данном эксперименте значительно меньше общего числа сварок. Поэтому можно сделать вывод о достаточно высоком проценте "нулевых" сварок, т. е. сварок у которых значение потерь лежит в пределах погрешности рефлектометра и о необходимости представления гистограммы в виде количества сварок обеспечивающих соответствующее значение потерь.

Данные результаты могут использоваться при проектировании ВОЛС, взяв показатели типового и наихудшего результатов измерений, учитывая, что вероятность выполнения всех сращиваний в волокне соответствующих наихудшему случаю достаточно низка. Поэтому суммарные потери  $N_s$

сращиваний по всей длине ВОЛС, целесообразнее определять в соответствии с выражением:

$$\alpha_s(\text{дБ}) = N_s \alpha_s(\text{дБ}) + 3\sqrt{N_s} \&_s(\text{дБ}).$$

где  $\alpha_s$  - среднее значение потерь;

$\&_s$  - потери, соответствующие отклонению равному  $3\sigma$  при нормальном распределении измеренных потерь.

Кроме этого, при получении аналогичных результатов для других сварочных аппаратов можно будет провести более детальное сравнение их параметров, а так же определить число неудачных сварок, тем самым установив ориентировочные затраты времени на сварочные работы при строительстве и устранении неисправностей ВОЛС.

### 3.3 Эксплуатационные измерения на ВОСП

Эксплуатационные измерения включают в себя :

- измерение уровней оптической мощности и затухания;
- измерение возвратных потерь;
- определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля;
- стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП.

Дополнительно к эксплуатационным могут быть отнесены измерения спектральных характеристик источника и анализ дисперсии ВОСП, однако они редко проводятся в полевых условиях и на современном уровне развития технологии ближе к системным и лабораторным измерениям.

Для проведения этих измерений используются эксплуатационные приборы, перечисленные в таблице 1.

Таблица 1- Эксплуатационные измерения ВОЛС [10]

Параметр тестирования	Необходимое измерительное оборудование
Оптическая мощность (выход источников, уровень принимаемого сигнала)	OPM, OLTS
Затухание в кабеле, интерфейсах и волокнах	OPM, SLS, OLTS
Уровень возвратных потерь	Анализатор ORL, OTDR
Определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля	Визуальный дефектоскоп, OTDR
Определение спектральных характеристик источника*	Оптический анализатор спектра
Определение параметров дисперсии*	Анализаторы дисперсии
Стрессовое тестирование ВОСП	Перестраиваемые аттенюаторы, OPM, SLS, OLTS

### 3.2.1 Измерения уровня оптической мощности и затухания

Уровень измерения оптической мощности и затухания измерения взаимосвязаны. Как известно, измерения затухания в любой системы передачи связана с определением уровня сигнала (мощность) для ввода и вывода. В отношении оптических систем передачи решение этой простой задачи сложно, поскольку измерение уровня сигнала в ВОСП зависит от параметров оптической интерфейс генератора тестовых оптического сигнала (качество обработки торца волокна, точность настройки излучателя относительно этого, и др.). Также существенным является требование постоянства условий одобрения источник сигнала по волоконно.

### 3.3.2 Метод прямого измерения затухания, вносимого кабелем

Схема такого измерения представлена на рисунке 3.10 и представляет собой типичную схему измерения "точка-точка", когда тестовый генератор и анализатор расположены по разным концам тестируемой линии.

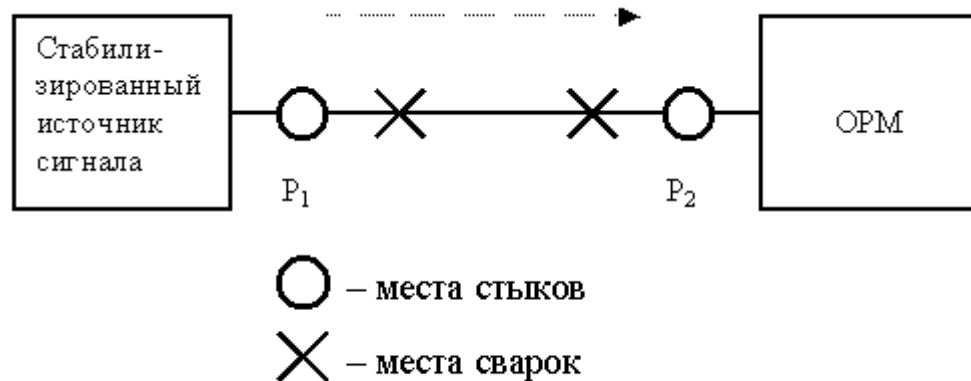


Рисунок 14- Типовая схема измерения затухания в оптическом кабеле

На практике обычно производят измерения не затухания в оптическом кабеле, а вносимое затухание, которое является суммой затухания в линии и потерями мощности в оптических интерфейсах передатчика и приемника. При проведении приемосдаточных измерений влияние оптических интерфейсов линейного оборудования ВОСП должно измеряться и учитываться.

Существует две разновидности схемы измерений:

- измерение затухания без разрушения кабеля;
- измерение с разрушением кабеля .

### 3.3.3. Измерение затухания без разрушения кабеля

Чтобы повысить точность метода, как правило, используются статистические накопления результатов или повторение измерений после разрушения нескольких сантиметров кабеля. Основная погрешность измерения без разрушения кабеля конфликт источник и приемник спектра передаваемого сигнала. В описываемый метод может быть использован не только пару OPM-SLS, но два инструмента OLTS, которая обеспечивает дополнительный анализ кабель с факторами направления. Поскольку оптические характеристики кабеля, измеренное от точки а к точке б могут отличаться от результатов, от точки В К А. В этом случае, использование OLTS позволяет альтернативного тестирования с первым источником в точке а, а затем - в точке С. затем результаты измерений усредняются.

#### 3.3.4 Метод измерения с разрушением кабеля

Для измерения затухания кабеля при проведении строительно-монтажных работ иногда используют метод измерения с разрушением кабеля, при котором производят обрыв волокна на расстоянии нескольких метров от входного конца и измеряют разность значений оптической мощности на всей длине кабеля и на коротком участке обрыва. При этом измеренное значение мощности на дальнем конце кабеля считают PL, а измеренное значение после обрыва кабеля - P0. Разность этих двух значений определяет величину затухания в кабеле. Для повышения точности метода измерения повторяют несколько раз путем дополнительных обрывов волокна длиной несколько сантиметров. Недостатком этого метода измерения является то, что он разрушает волокно, поэтому метод не имеет особенной эксплуатационной ценности. Обычно этот метод используется для лабораторного анализа кабелей.

#### 3.3.5 Метод обратного рассеяния для измерения затухания

Метод основан на использовании оптических рефлектометров. В основе метода лежит явление обратного рэлеевского рассеяния. Для реализации этого метода измеряемое волокно зондируют мощными оптическими импульсами, вводимыми через направленный ответвитель. Вследствие отражения от рассеянных и локальных неоднородностей, распределенных по всей длине волокна, возникает поток обратного рассеяния. Регистрация этого потока позволяет определить функцию затухания по длине с того же конца кабеля, что является важным достоинством метода. Одновременно фиксируют местоположения и характер неоднородностей.

Генератор оптического сигнала в составе рефлектометра посылает короткий импульс, который отражается на неоднородностях А и В. При отражении от каждой неоднородности возникает проходящий и отраженный сигналы. В результате на анализаторе мощности относительно времени

прихода импульса можно получить график зависимости отраженного от неоднородностей сигнала от длины линии (рефлектограмму).

На рефлектограмме представляются следующие изменения отраженного сигнала:

- отражение от А ;
- отражение от В .
- интермодуляционные отражения высших порядков (В-А-В и т.д.)

которые обычно малы по амплитуде и воспринимаются как шум.

Угол наклона кривой определяет удельное затухание оптического сигнала в линии.

Таким образом, при измерении с одного конца кабеля оператор получает сведения о затухании сигнала в зависимости от длины кабеля.

Измерения с одного конца кабеля удобны, дают возможность быстрой локализации неисправности уже уложенного кабеля. Эти преимущества рефлектометров по сравнению с анализаторами потерь оптической мощности, которые требуют организации измерений по схеме "точка-точка", обусловило широкое распространение в современных телекоммуникациях в качестве одного из основных тестирующих приборов. Кроме того, визуальный анализ качества кабелей, который обеспечивается рефлектометром, чрезвычайно удобен в эксплуатации.

Типичная рефлектограмма представлена на рисунке 3.11. На приведенном графике видны отражения, связанные с плохим соединением кабелей, отражение от сварки, областей случайного рассеяния и отражения, связанные с технологическими неоднородностями в материале кабеля, наконец, отражение от дальнего конца кабеля. Начальный выброс уровня обусловлен френелевским отражением в разъёмном оптическом интерфейсе, соединяющем прибор с испытуемым кабелем.



Рисунок 15- Зависимость отражаемой мощности от длины кабеля



Место сочленения кабеля в отсутствие Френелевского отражения способствует только амортизация, стоимость которого соответствует снижению на данный момент. Конец кабеля или сломать дают выбросов из-за отражения Френеля. Прибор с поврежденным шнуром Френелевское отражение может отсутствовать (skol волокон под углом к продольной оси самолета), а затем на место поломки характеризуется резким спадом. Трассировки можно определить величину демпфирования на разнице длин как половина разницы мощности сигнала на след. Как правило, на одной стороне кабеля к РЕФЛЕКТОМЕТР позволяет измерять затухание в диапазоне 15-20 дБ, поэтому, если вы превысите этот измерений затухания должно быть сделано с обеих сторон. В сравнительно короткие периоды кабель позволяет повысить точность измерений. Основным недостатком этого метода является небольшой динамический диапазон измерений, из-за низкой мощности излучения обратного рассеяния. Кроме того, РЕФЛЕКТОМЕТР довольно дорогие устройства, которые не всегда доступны для служб эксплуатации. Применимость метода обратной задачи рассеяния с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА требует анализа объективных и субъективных ошибок измерения. Выше мы уже обсуждали вопрос о сравнении эффективности измерения затухания с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА и OLTS. Они также обсудили цели неточности, связанные с OTDR (разрешение, Размер мертвой зоны и т.д.). Однако, в процессе измерений с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА может происходить не только ошибки, связанные с техническими характеристиками рефлектметр, но ошибки, связанные с распространения сигнала в оптическом кабеле.

При измерениях расстояний на точность измерений OTDR влияют два основных фактора:

- скорость распространения оптического сигнала в кабеле;
- длина оптического волокна в оптическом кабеле.

Скорость распространения оптического сигнала в кабеле является функцией коэффициента преломления стекла, который может варьироваться в пределах нескольких процентов для разных кабелей. Учесть влияние этого параметра можно, протестировав кабель известной длины того же типа.

Место сочленения кабеля в отсутствие Френелевского отражения способствует только амортизация, стоимость которого соответствует снижению на данный момент. Конец кабеля или сломать дают выбросов из-за отражения Френеля. Прибор с поврежденным шнуром Френелевское отражение может отсутствовать (skol волокон под углом к продольной оси самолета), а затем на место поломки характеризуется резким спадом. Трассировки можно определить величину демпфирования на разнице длин как половина разницы мощности сигнала на след. Как правило, на одной стороне кабеля к РЕФЛЕКТОМЕТР позволяет измерять затухание в диапазоне 15-20 дБ, поэтому, если вы превысите этот измерений затухания должно быть сделано с обеих сторон. В сравнительно

короткие периоды кабель позволяет повысить точность измерений. Основным недостатком этого метода является небольшой динамический диапазон измерений, из-за низкой мощности излучения обратного рассеяния. Кроме того, РЕФЛЕКТОМЕТР довольно дорогие устройства, которые не всегда доступны для служб эксплуатации. Применимость метода обратной задачи рассеяния с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА требует анализа объективных и субъективных ошибок измерения. Выше мы уже обсуждали вопрос о сравнении эффективности измерения затухания с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА и OLTS. Они также обсудили цели неточности, связанные с OTDR (разрешение, Размер мертвой зоны и т.д.). Однако, в процессе измерений с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА может происходить не только ошибки, связанные с техническими характеристиками рефлектометр, но ошибки, связанные с распространения сигнала в оптическом кабеле.

Место сочленения кабеля в отсутствие Френелевского отражения способствует только амортизация, стоимость которого соответствует снижению на данный момент. Конец кабеля или сломать дают выбросов из-за отражения Френеля. Прибор с поврежденным шнуром Френелевское отражение может отсутствовать ( $skol$  волокон под углом к продольной оси самолета), а затем на место поломки характеризуется резким спадом. Трассировки можно определить величину демпфирования на разнице длин как половина разницы мощности сигнала на след. Как правило, на одной стороне кабеля к РЕФЛЕКТОМЕТР позволяет измерять затухание в диапазоне 15-20 дБ, поэтому, если вы превысите этот измерений затухания должно быть сделано с обеих сторон. В сравнительно короткие периоды кабель позволяет повысить точность измерений. Основным недостатком этого метода является небольшой динамический диапазон измерений, из-за низкой мощности излучения обратного рассеяния. Кроме того, РЕФЛЕКТОМЕТР довольно дорогие устройства, которые не всегда доступны для служб эксплуатации. Применимость метода обратной задачи рассеяния с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА требует анализа объективных и субъективных ошибок измерения. Выше мы уже обсуждали вопрос о сравнении эффективности измерения затухания с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА и OLTS. Они также обсудили цели неточности, связанные с OTDR (разрешение, Размер мертвой зоны и т.д.). Однако, в процессе измерений с помощью РЕФЛЕКТОМЕТРА может происходить не только ошибки, связанные с техническими характеристиками рефлектометр, но ошибки, связанные с распространения сигнала в оптическом кабеле.

### 3.3.6 Определение места и характера повреждения оптоволоконного кабеля

Первой задачей поиск и устранение неисправностей волоконно-оптический анализ том, была ли неспособность электрические части

оборудования или оптический. Для этого, с помощью ORM измеряется оптической мощности, а затем сравнению с нормой. Если уровня оптической мощности в пределах нормы, виноваты в электронной части оборудования передачи, которая нуждается в замене или ремонту. Если уровень принимаемого питания слишком низкое, то проблема либо передатчик, либо оптоволоконный кабель. Для дальнейшего поиска, вам нужно для измерения выходной мощности передатчика, для этой цели используются ОРМ и тестирования кабеля. Если передатчик Выходная мощность невелика, ее необходимо исправить. Если индикатор питания находится в пределах нормы, проблема связана с волоконно-оптического кабеля.

Чтобы найти неисправность в кабельной начинается с анализа ее связь с помощью визуального дефектоскопа в случае кабеля ближнемагистральный или OTDR если длинных кабелей. Основные неполадки кабелей, как правило, разъемы, плохое качество сварки, соединения и обрывов кабеля, вызванных внешними воздействиями. Для поиска неисправностей в разъемы используются операционные микроскопы. Для диагностики сварных швов и локализация обрывов применяются OTDR с учетом указанных выше ограничений на точность измерений.

Основные виды неисправностей в ВОСП приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные виды неисправностей в ВОСП

Неисправность	Причина	Оборудование диагностики	Процедура устранения
Коннектор	Пыль или загрязнение	Микроскоп	Очищение, полировка, обновление
Кабель pigtail	Перекручивание кабеля	Визуальный дефектоскоп	Устранение перекручивания
Локальный всплеск затухания в кабеле	Перекручивание кабеля	OTDR	Устранение перекручивания
Распределенное увеличение затухания в кабеле	Некачественный кабель	OTDR	Замена участка кабеля
Потери в сварочном узле	Некачественная сварка. Потери, связанные с близким расположением волокон в сварочном узле	OTDR Визуальный дефектоскоп	Вскрытие узла и проведение сварки заново
Обрыв кабеля	Внешние воздействия	OTDR, визуальный дефектоскоп	Ремонт/замена

### 3.3.7 Локализация обрывов и определение характера повреждений в оптическом кабеле

Первой задачей поиск и устранение неисправностей волоконно-оптический анализ том, была ли неспособность электрические части оборудования или оптический. Для этого, с помощью ORM измеряется оптической мощности, а затем сравнению с нормой. Если уровня оптической мощности в пределах нормы, виноваты в электронной части оборудования передачи, которая нуждается в замене или ремонту. Если уровень принимаемого питания слишком низкое, то проблема либо передатчик, либо оптоволоконный кабель. Для дальнейшего поиска, вам нужно для измерения выходной мощности передатчика, для этой цели используются ORM и тестирования кабеля. Если передатчик Выходная мощность невелика, ее необходимо исправить. Если индикатор питания находится в пределах нормы, проблема связана с волоконно-оптического кабеля. Чтобы найти неисправность в кабельной начинается с анализа ее связь с помощью визуального дефектоскопа в случае кабеля ближнемагистральный или OTDR если длинных кабелей. Основные неполадки кабелей, как правило, разъемы, плохое качество сварки, соединения и обрывов кабеля, вызванных внешними воздействиями. Для поиска неисправностей в разъемы используются операционные микроскопы. Для диагностики сварных швов и локализация обрывов применяются OTDR с учетом указанных выше ограничений на точность измерений.

### 3.3.8 Поиск неисправностей в оптических коннекторах

Первой задачей поиск и устранение неисправностей волоконно-оптический анализ том, была ли неспособность электрические части оборудования или оптический. Для этого, с помощью ORM измеряется оптической мощности, а затем сравнению с нормой. Если уровня оптической мощности в пределах нормы, виноваты в электронной части оборудования передачи, которая нуждается в замене или ремонту. Если уровень принимаемого питания слишком низкое, то проблема либо передатчик, либо оптоволоконный кабель. Для дальнейшего поиска, вам нужно для измерения выходной мощности передатчика, для этой цели используются ORM и тестирования кабеля. Если передатчик Выходная мощность невелика, ее необходимо исправить. Если индикатор питания находится в пределах нормы, проблема связана с волоконно-оптического кабеля. Чтобы найти неисправность в кабельной начинается с анализа ее связь с помощью визуального дефектоскопа в случае кабеля ближнемагистральный или OTDR если длинных кабелей. Основные неполадки кабелей, как правило, разъемы, плохое качество сварки, соединения и обрывов кабеля, вызванных внешними воздействиями. Для поиска неисправностей в разъемы используются операционные микроскопы. Для диагностики сварных швов и

локализация обрывов применяются OTDR с учетом указанных выше ограничений на точность измерений.

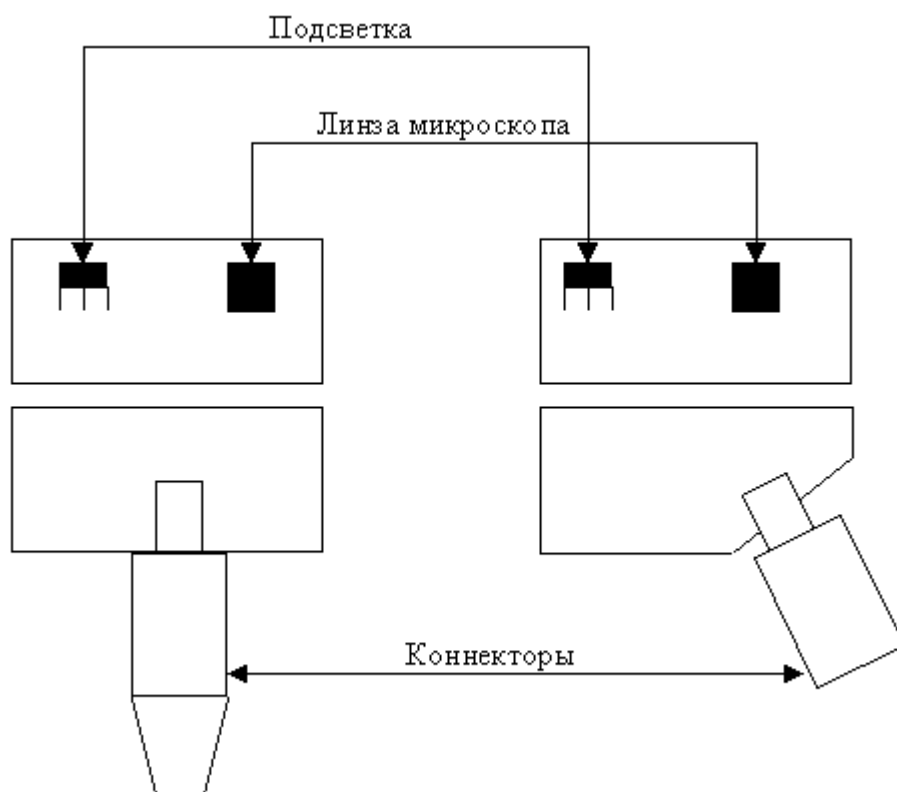


Рисунок 16- Поиск неисправностей в коннекторах с использованием микроскопа

Первой задачей поиск и устранение неисправностей волоконно-оптический анализ том, была ли неспособность электрические части оборудования или оптический. Для этого, с помощью ORM измеряется оптической мощности, а затем сравнению с нормой. Если уровня оптической мощности в пределах нормы, виноваты в электронной части оборудования передачи, которая нуждается в замене или ремонту. Если уровень принимаемого питания слишком низкое, то проблема либо передатчик, либо оптоволоконный кабель. Для дальнейшего поиска, вам нужно для измерения выходной мощности передатчика, для этой цели используются ОРМ и тестирования кабеля. Если передатчик Выходная мощность невелика, ее необходимо исправить. Если индикатор питания находится в пределах нормы, проблема связана с волоконно-оптического кабеля. Чтобы найти неисправность в кабельной начинается с анализа ее связь с помощью визуального дефектоскопа в случае кабеля ближнемагистральный или OTDR если длинных кабелей. Основные неполадки кабелей, как правило, разъемы, плохое качество сварки, соединения и обрывов кабеля, вызванных внешними воздействиями. Для поиска неисправностей в разъемы используются операционные микроскопы. Для диагностики сварных швов и локализация обрывов применяются OTDR с учетом указанных выше ограничений на точность измерений.

### **3.4 Стрессовое тестирование аппаратуры ВОСП**

Проектирование волоконно-оптических систем передачи обязательно включает в себя расчет энергетического бюджета оптического сигнала в ВОСП. Реальное значение обычно отличается от расчетного в связи с различием в качестве сварочных узлов, соединений и т.д. Реальное значение энергетического бюджета оптического сигнала, полученное в ходе приемосдаточных испытаний, включается в паспорт ВОСП. В связи с тем, что расчетное значение, как правило, имеет запас по мощности по сравнению с реальным значением, возникает вопрос оценки потенциального запаса по мощности в ВОСП. Знание величины этого запаса может быть использовано для анализа влияния различных условий эксплуатации: например, каково предельное значение затухание заданного узла ВОСП, при котором система передачи еще будет работать.

Для анализа этого запаса по мощности применяются принципы стрессового тестирования, т.е. имитации плохих условий функционирования ВОСП. Для имитации плохого качества ВОСП используются оптические аттенюаторы, которые предназначены для регулирования и измерения затухания оптического сигнала в одномодовых волоконно-оптических системах передачи.

## **4 Измерения, проводимые на всех этапах строительства**

### **4.1 Измерения на кабельной площадке**

Первой задачей поиск и устранение неисправностей волоконно-оптический анализ том, была ли неспособность электрические части оборудования или оптический. Для этого, с помощью ORM измеряется оптической мощности, а затем сравнению с нормой. Если уровня оптической мощности в пределах нормы, виноваты в электронной части оборудования передачи, которая нуждается в замене или ремонту. Если уровень принимаемого питания слишком низкое, то проблема либо передатчик, либо оптоволоконный кабель. Для дальнейшего поиска, вам нужно для измерения выходной мощности передатчика, для этой цели используются ОРМ и тестирования кабеля. Если передатчик Выходная мощность невелика, ее необходимо исправить. Если индикатор питания находится в пределах нормы, проблема связана с волоконно-оптического кабеля. Чтобы найти неисправность в кабельной начинается с анализа ее связь с помощью визуального дефектоскопа в случае кабеля ближнемагистральный или OTDR если длинных кабелей. Основные неполадки кабелей, как правило, разъемы, плохое качество сварки, соединения и обрывов кабеля, вызванных внешними воздействиями. Для поиска неисправностей в разъемы

используются операционные микроскопы. Для диагностики сварных швов и локализация обрывов применяются OTDR с учетом указанных выше ограничений на точность измерений.

#### 4.1.3 Измерения в процессе монтажа оптического кабеля

Измерения в процессе монтажа ОК производятся с целью оценки качества выполнения неразъемных соединений ОВ при сращивании строительных длин. Измерения рекомендуется проводить оптическим рефлектометром методом обратного рассеяния.

Следует отметить, что в ряде устройств для сварки ОВ предусмотрена возможность грубой пороговой оценки затухания стыка ОВ (типа «удовлетворяет» или «не удовлетворяет»). Обычно она показывает, больше или меньше нормы контролируемое затухание. Если больше, то соединение должно быть выполнено заново, если меньше, то необходимо уточнить оценку с помощью оптического рефлектометра.

Нормативно-техническая документация регламентирует при оценке затухания, стыков ОВ проведение измерений с двух концов кабеля (А и Б) и определение результатов измерений или среднеалгебраическое значения результатов двух измерений в направлениях А—Б и Б—А по формуле:

$$\alpha_c = (\alpha_{AB} - \alpha_{BA})/2,$$

где  $\alpha_c$  — результат измерения затухания на стыке;

$\alpha_{AB}$ ,  $\alpha_{BA}$  результаты измерения соответственно в направлении А—Б и Б—А.

Значение  $\alpha_c$  не должно превышать нормируемого для данного типа ОК допустимого значения затухания стыка ОВ. Результаты измерений затухания стыков ОВ заносятся в паспорт на смонтированную муфту.

Паспорта на смонтированные муфты, представленные в приложении Приложении К, составляют впоследствии по результатам измерений, проведенных в двух направлениях на смонтированном регенерационном участке (РУ).

#### 4.2 Основные понятия и параметры надёжности

Первой задачей поиск и устранение неисправностей волоконно-оптический анализ том, была ли неспособность электрические части оборудования или оптический. Для этого, с помощью ORM измеряется оптической мощности, а затем сравнению с нормой. Если уровня оптической мощности в пределах нормы, виноваты в электронной части оборудования передачи, которая нуждается в замене или ремонту. Если уровень принимаемого питания слишком низкое, то проблема либо передатчик, либо оптоволоконный кабель. Для дальнейшего поиска, вам нужно для измерения

выходной мощности передатчика, для этой цели используются ОРМ и тестирования кабеля. Если передатчик Выходная мощность невелика, ее необходимо исправить. Если индикатор питания находится в пределах нормы, проблема связана с волоконно-оптического кабеля. Чтобы найти неисправность в кабельной начинается с анализа ее связь с помощью визуального дефектоскопа в случае кабеля ближнемагистральный или OTDR если длинных кабелей. Основные неполадки кабелей, как правило, разъемы, плохое качество сварки, соединения и обрывов кабеля, вызванных внешними воздействиями. Для поиска неисправностей в разъемы используются операционные микроскопы. Для диагностики сварных швов и локализация обрывов применяются OTDR с учетом указанных выше ограничений на точность измерений.

### 4.3 Основные факторы, влияющие на надёжность

Надежность ВОЛП зависит от различных конструктивно-производственных и эксплуатационных факторов [20]. К первым относят факторы, связанные с разработкой, проектированием и изготовлением ОК и других вспомогательных изделий и устройств, входящих в состав ВОЛП. Ко вторым – все факторы, влияющие на надежность ОК в процессе его прокладки, монтажа и последующей эксплуатации. В связи с этим, интерес представляют вопросы организации системы технической эксплуатации (СТЭ) ВОЛП, как наиболее длительного периода ее использования.

Оценочный расчет показателей качества и надежности, рекомендованный в нормативных документах и выполняемый на стадии проектирования для магистралей ВОЛП первичной сети при различной протяженности тракта ВОЛП, приведен в таблице 3.

Протяженность до 200 км – местная первичная сеть, до 1500 км – зональная первичная сеть, до 12500 км – магистральная первичная сеть.

Таблица 3 – Оценочный расчет показателей качества

Показатель	Канал ОЦК на сети SDH			Оборудование линейного тракта		
	200	1500	12500	200	1500	12500
Протяжённость тракта ВОЛП, км, не более	200	1500	12500	200	1500	12500
Коэффициент готовности, не менее	0,9994	0,998	0,982	0,9987	0,99	0,92
Среднее время между отказами, ч., не менее	7000	2050	230	2500	350	40
Время	4,24			10-16*		



восстановления, ч., не более		
---------------------------------	--	--

Первой задачей поиск и устранение неисправностей волоконно-оптический анализ том, была ли неспособность электрические части оборудования или оптический. Для этого, с помощью ORM измеряется оптической мощности, а затем сравнению с нормой. Если уровня оптической мощности в пределах нормы, виноваты в электронной части оборудования передачи, которая нуждается в замене или ремонту. Если уровень принимаемого питания слишком низкое, то проблема либо передатчик, либо оптоволоконный кабель. Для дальнейшего поиска, вам нужно для измерения выходной мощности передатчика, для этой цели используются ORM и тестирования кабеля. Если передатчик Выходная мощность невелика, ее необходимо исправить. Если индикатор питания находится в пределах нормы, проблема связана с волоконно-оптического кабеля. Чтобы найти неисправность в кабельной начинается с анализа ее связь с помощью визуального дефектоскопа в случае кабеля ближнемагистральный или OTDR если длинных кабелей. Основные неполадки кабелей, как правило, разъемы, плохое качество сварки, соединения и обрывов кабеля, вызванных внешними воздействиями. Для поиска неисправностей в разъемы используются операционные микроскопы. Для диагностики сварных швов и локализация обрывов применяются OTDR с учетом указанных выше ограничений на точность измерений.

На рисунке 17 представлено распределение по видам повреждений ВОЛП за последние несколько лет наблюдений при протяженности линий около 4000 км. Продолжительность повреждений в часах за соответствующий год и среднее время восстановления одного повреждения представлены на рисунке 18 [20].



Рисунок 17 – Диаграмма распределения количества повреждений ВОЛП по причинам их возникновения

Приведенная статистика позволяет сделать вывод, что преобладающим видом повреждений ВОЛП являются повреждения механического характера, которые требуют от службы эксплуатации применения самых разнообразных мер по их устранению.



Рисунок 18 – Диаграмма средней продолжительности повреждений и времени восстановления ВОЛП

Расчет коэффициентов готовности по статистическим данным, приведенным на диаграммах, позволяет судить о качестве работы СТЭ. Например, для оборудования линейного тракта протяженностью до 200 км  $K_{200} = 0,992$ , на внутризоновой первичной сети с протяженностью ВОЛП до 1500 км  $K_{1500} = 0,986$ , на магистральной первичной сети с протяженностью ВОЛП до 12500 км  $K_{12500} = 0,862$ .

Сравнивая расчетные средние значения коэффициентов готовности с рекомендованными и полученными на основе анализа статистической модели, можно сделать вывод, что реальные значения коэффициентов готовности далеки от рекомендуемых. Следовательно, поиск путей повышения эффективности работы СТЭ – актуальная задача, требующая решения.

#### 4.4 Расчёт показателей надёжности

Согласно РД 45.047-99 требуемые показатели качества и надежности для местной первичной сети (МСП), внутризоновой первичной сети (ВзПС) и магистральной первичной сети (СМП) взаимосвязанной сети связи с максимальной протяженностью  $L_M$  (без резервирования) приведены в таблицах 4, 5, 6.

Таблица 4 – Показатели надежности для МСП,  $L_M = 200$  км

Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой системы передачи	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	АЛТ
Коэффициент готовности	> 0,997	> 0,9994	0,9987
Среднее время между отказами, час	>400	>7000	>2500
Время восстановления, час	<1,1	<4,24	

Таблица 5 – Показатели надежности для ВЗПС,  $L_M = 1400$  км

Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой системы передачи	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	АЛТ
Коэффициент готовности	>0,99	> 0,998	0,99
Среднее время между отказами, час	> 111,4	>2050	>350
Время восстановления, час	<1.1	<4,24	

Интенсивность отказов ОК за 1 час на длине трассы ВОЛП  $L$  определяется как:

$$\lambda_{ok} = \frac{\mu \cdot L}{8760 \cdot 100}, \quad (7.2)$$

где  $\mu$  - среднее число (плотность) отказов ОК за счёт внешних повреждений на 100 км;

8760 – количество часов в году;

$L$  – длина проектируемой магистрали.

Таблица 6 – Показатели надежности для СМП,  $L_M = 12500$  км

Показатель надежности	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой системы передачи	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	АЛТ
Коэффициент готовности	>0,92	> 0,982	0,92

Среднее время между отказами, час	> 12,54	>230	>40
Время восстановления, час	<1,1	<4,24	

При существующей на эксплуатации стратегии восстановления, начинающегося с момента обнаружения отказа (аварии), коэффициент простоя (неготовности) определяется по широко известной формуле:

$$K_n^a = \frac{\lambda_0 \cdot T_{\text{в}}}{1 + \lambda_0 \cdot T_{\text{в}}} = \frac{T_{\text{в}}}{T_0 + T_{\text{в}}},$$

где  $T_{\text{в}}$  – время восстановления,  
 $T_0$  – среднее время между отказами,

$$K_{\text{с}} = 1 - K_n = 1 - \frac{T_{\text{в}}}{T_0 + T_{\text{в}}}.$$

При длине канала (магистральной)  $L$  не равным  $L_{\text{М}}$  среднее время между отказами определится как:

$$T_0(L) = T_0 \frac{L_{\text{М}}}{L}.$$

Для последовательного соединения по надежности элементов системы передачи (например, участков магистральной или отдельных видов оборудования), суммарный коэффициент простоя равен:

$$K_{\text{п}} = K_{\text{п1}} + K_{\text{п2}} + \dots$$

где  $K_{\text{п1}}$ ,  $K_{\text{п2}}$ , ... - коэффициенты простоя отдельных элементов системы передачи (например, аппаратуры и кабеля), определяемые в соответствии с выражением (7.3).

Данные для расчета надёжности проектируемой ВОЛП приведены в таблице 7

Таблица 7- Технические условия для ВОЛП,  $L_{\text{М}}=1500$  км

Показатель надёжности	АЛТ
Коэффициент готовности ( $K_{\text{Г}}$ ), не менее	0,985
Среднее время между отказами ( $T_0$ ), час, не менее	340,5
Среднее время восстановления ( $T_{\text{в}}$ ), час, не более	5,2
Плотность повреждений ( $\mu$ ), не более	0,1823

Расчёт интенсивности отказов оборудования ОП и НРП за 1 час:

$$\lambda_{\text{оп}} = \frac{0,1823}{8760} = 2,08 \cdot 10^{-5}.$$

Расчёт интенсивности отказов ОК за 1 час на длине трассы ВОЛП L=220 км :

$$\lambda_{\text{ок}} = \frac{0,1823 \cdot 220}{8760 \cdot 100} = 4,58 \cdot 10^{-5}.$$

Расчёт среднего времени восстановления НРП при скорости движения V = 60 км/ч, наибольшей длине пролёта L<sub>п</sub> = 80 км и времени восстановления работы НРП T<sub>в НРП</sub> = 0,5 часа:

$$T_{\text{в}} = \frac{L_{\text{п}}}{V} + T_{\text{в НРП}},$$

$$T_{\text{в1}} = \frac{80}{60} + 0,5 = 1,83 \text{ ч.}$$

Расчёт среднего времени восстановления ОК при скорости движения V = 60 км/ч, длине участка ВОЛП, равно удалённого от ОП, L = 80 км и времени восстановления ОК T<sub>в ОК</sub> = 2,5 часа:

$$T_{\text{в2}} = \frac{L_{\text{волп}}}{V} + T_{\text{в ОК}},$$

$$T_{\text{в2}} = \frac{80}{60} + 2,5 = 3,83 \text{ ч.}$$

Среднее время между отказами при длине магистрали L = 220 км T<sub>0</sub>=340,5 часов (таблица 7.5), L<sub>М</sub>=1500 км:

$$T_{\text{0 волп}} = 340,5 \cdot \frac{1500}{220} = 2324,6 \text{ ч.}$$

Среднее нормативное время между отказами при длине магистрали L = 220 км, T<sub>0</sub>=350 часов (таблица 7.5) и L<sub>М</sub>=1400 км:

$$T_{\text{0н}} = 350 \cdot \frac{1400}{220} = 2227,3 \text{ ч.}$$

Расчёт коэффициента простоя оборудования ОП :

$$K_n^a = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5}{1 + 2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5} = 1,04 \cdot 10^{-5}.$$

Расчёт коэффициента простоя оборудования НРП по :

$$K_n^a = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,83}{1 + 2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,83} = 3,8 \cdot 10^{-5}.$$

Расчёт коэффициента простоя ОК по (7.3):

$$K_n^a = \frac{4,58 \cdot 10^{-5} \cdot 3,83}{1 + 4,58 \cdot 10^{-5} \cdot 3,83} = 1,75 \cdot 10^{-4}.$$

Коэффициент простоя системы DWDM по :

$$K_{\Pi} = 2 \cdot 0,104 \cdot 10^{-4} + 0,38 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 1,75 \cdot 10^{-4} = 4,088 \cdot 10^{-4}.$$

Коэффициент готовности системы DWDM :

$$K_{\Gamma} = 1 - 0,0004088 = 0,9995912.$$

Результаты расчётов надёжности ВОЛП и норм представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Сравнение показателей качества и надёжности

Показатель надежности	Проектируемая ВОЛП	Требуемые показатели качества и надёжности АЛТ
Коэффициент готовности	0,9995915	0,99
Среднее время между отказами, час	2324,6	2227,3
Время восстановления, час:		
ОП	< 0,5	< 0,5
НРП	< 1,83	< 2,5
ОК	< 3,83	< 10

## 1.5 Расчет длины регенерационного участка

Длина регенерационного участка определяется суммарным затуханием регенерационного участка и дисперсией оптического кабеля. Суммарное затухание состоит из потерь мощности непосредственно в оптическом волокне и из потерь в разъёмных и неразъёмных соединениях.

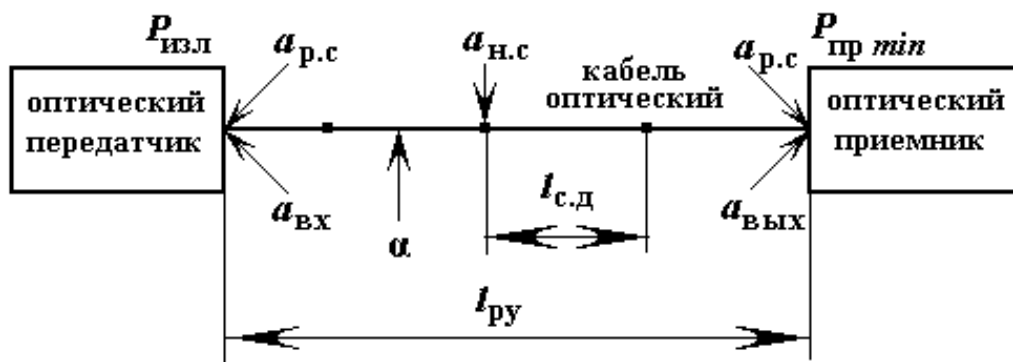


Рисунок 19- Скелетная схема волоконно-оптического тракта

Рассчитаем длину регенерационного участка между Кордаем и Отаром.  
Суммарные потери регенерационного участка, дБ, можно рассчитать по формуле

$$a_{\Sigma} = n_{p.c} \cdot a_{p.c} + n_{н.с} \cdot a_{н.с} + a_t + a_v,$$

где  $n_{p.c}$  – количество разъемных соединителей (2);

$a_{p.c}$  – потери в разъемных соединениях (0,6 дБ);

$n_{н.с}$  – количество неразъемных соединений;

$a_{н.с}$  – потери в неразъемных соединениях (0,02 дБ);

$a_t$  – допуск на температурные изменения затухания ОВ (1 дБ);

$a_v$  – допуск на изменение характеристик компонентов РУ со временем (5 дБ);

Количество неразъемных соединений рассчитывается по формуле:

$$n_{н.с.} = \frac{L_{ОРП}}{l_{с.д.}} - 1$$

где  $L_{ОРП}$  – расстояние между ОРП, км;  $l_{с.д.}$  – строительная длина кабеля (выбираем 4 км).

$$n_{н.с.1} = \frac{78}{4} - 1 = 19$$

$$a_{\Sigma} = 2 \cdot 0,6 + 19 \cdot 0,02 + 1 + 5 = 6,58 \text{ дБ.}$$

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

$$l_{ру} \leq \frac{\mathcal{E}_{\Pi} - a_{\Sigma}}{\alpha},$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания ОВ (0,2 дБ);

$\mathcal{E}_{\Pi} = (P_{пер} - P_{пр})$  – энергетический потенциал волоконно-оптической системы передачи;

$P_{пер}$  – уровень мощности оптического излучателя, дБм;

$P_{пр мин}$  – чувствительность приемника, дБм.

$$l_{ру} \leq \frac{34 - 6,58}{0,2} = 132 \text{ км.}$$

На длину регенерационного участка накладывают ограничения дисперсионные характеристики волокна.

С учетом дисперсии оптического волокна длина регенерационного участка составит:

$$l_{\text{py MAX}} = \frac{0,25}{\tau \cdot B},$$

где  $B$  – требуемая скорость передачи информации, бит/с;

$\tau$  – значение хроматической дисперсии одномодового оптического волокна, с/км.

$$l_{\text{py MAX}} = \frac{0,25}{3,5 \cdot 10^{-12} \cdot 155,520 \cdot 10^6} = 459,2 \text{ км}$$

Таким образом, длина регенерационного участка, рассчитанная по формуле (8), должна удовлетворять требованию:

$$l_{\text{py MAX}} \geq l_{\text{py}}$$

Проверим соответствие полученной длины регенерационного участка выражению (9):

$$459,2 \geq 132$$

В результате расчета и уточнения длин регенерационных участков по секциям между обслуживаемыми регенерационными пунктами (ОРП), определяется число необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП) на каждой секции и составляется скелетная схема кабельной линии, на которой указываются ОРП и НРП, длины участков и секций, тип кабеля и нумерация НРП. Как правило, нумерация НРП приводится дробью: в числителе указывается порядковый номер НРП, а в знаменателе – номер предыдущего ОРП.

Количество НРП можно определить по формуле

$$N_{\text{НРП}} = \frac{L_{\text{ОРП}}}{l_{\text{py}}} - 1$$

где  $L_{\text{ОРП}}$  – расстояние между ОРП, км.

$$N_{\text{НРП}} = \frac{78}{132} - 1 = 0$$



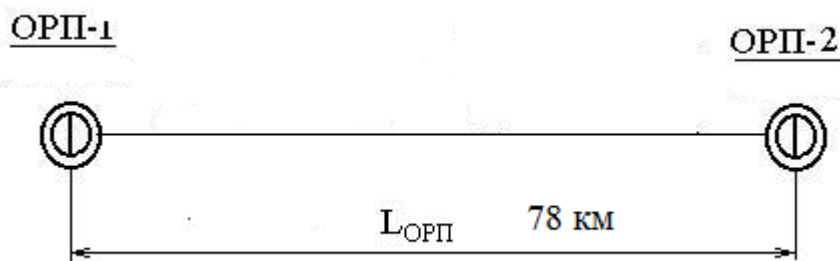


Рисунок 20 - Структура оптического линейного тракта на проектируемом участке

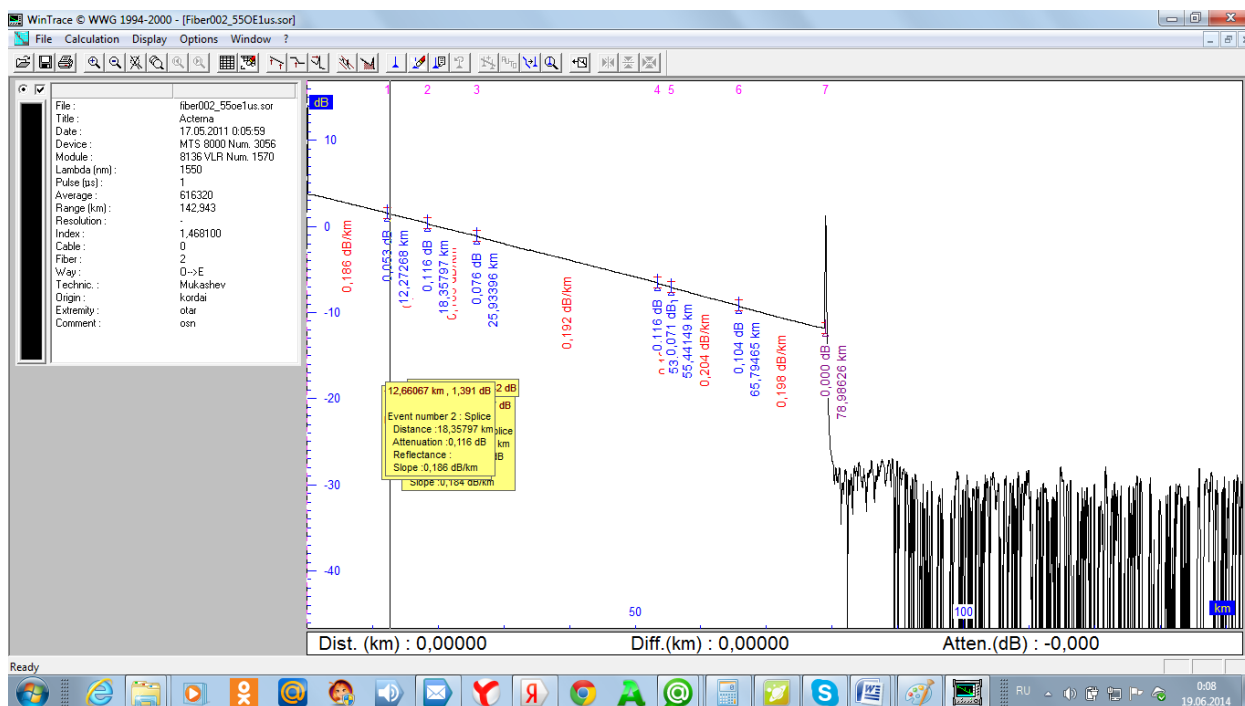


Рисунок 21- Рефлектограмма проектируемого участка

#### 4.6 Определение суммарных потерь в оптическом тракте

Параметры полной совокупности элементов кабельной системы должны удовлетворять следующему неравенству:

$$\sum L_j \alpha_j + n_{н.с} a_{н.с} + n_{р.с} a_{р.с} + n_n A_{\Delta} + 3 \leq \mathcal{E}_{\Pi},$$

где  $L_j$  – общая длина отрезка оптического кабеля  $j$  – того типа, причем  $\sum L_j = L$  – общая длина оптического тракта;

$\alpha_j$  – коэффициент затухания оптического кабеля  $j$  – того типа;

$A_{\Delta}$  – потери при переходе с волокна с одним диаметром сердцевины на волокно с другим диаметром или при соединении волокон с одинаковым диаметром сердцевины, но с различной числовой апертурой;

$n_n$  – количество точек перехода;

З – энергетический запас, принимаемый обычно равным 2-3 дБ и расходуемый в процессе эксплуатации волоконно-оптического канала связи на старение элементов, введение сростков новых неразъемных соединителей при ремонтах, модернизациях и т.д.

Э<sub>п</sub> – энергетический потенциал аппаратуры, численно равный общему допустимому затуханию оптического сигнала в тракте

Подставляя все необходимые значения в выражение (11), проверяем выполнение этого неравенства:

$$132 \cdot 0,2 + 19 \cdot 0,02 + 0,6 \cdot 8 + 3 \leq 34$$

$$36,82 \leq 40$$

Неравенство верно.

Расчеты проводились из предположения, что используются:

- автоматический сварочный аппарат - FSM-30S Fujikura с типовыми потерями на стыке 0,05 дБ;

- разъемные соединения типа SC (керамика) со средними потерями на длине волны 1,3 мкм для одномодового волоконного световода 0,25 дБ.

#### 4.7 Расчет полного запаса мощности системы

Энергетический потенциал с учетом потерь на ввод и вывод энергии из волокна, или полный запас мощности системы, дБ, можно определить по формуле:

$$\Pi = P_{\text{пер}} - a_{\text{вх}} - a_{\text{вых}} - P_{\text{пр мин}},$$

$$\Pi = -4 - 0,25 - 0,25 - (-40) = 35,5 \text{ дБ.}$$

#### 4.8 Расчет энергетического запаса

Энергетический запас системы определяют как разность между полным запасом мощности (12) и суммарным затуханием (5). Значение энергетического запаса работоспособной системы должно быть положительным.

$$\Pi - a_{\Sigma} \geq 0$$

Подставляя значения, проверяем выполнение этого неравенства:

$$35,5 - 12,22 = 23,28 \geq 0 \text{ неравенство верно.}$$

Полученное значение энергетического запаса системы, оказалось положительным, что говорит о ее работоспособности.

#### 4.9 Определение отношения сигнал/шум

Отношение сигнал/шум или вероятность ошибки, отводимые на длину регенерационного участка для цифровой волоконно-оптической системы связи определяется по формуле:

$$p_{\text{ош}} = p' \cdot l_{\text{py}},$$

где  $p'$  - вероятность ошибки, приходящаяся на 1 км оптического линейного тракта (для магистральной сети  $10^{-11}$ , для внутризонавой  $1,67 \cdot 10^{-10}$ , для местной  $10^{-9}$ ).

Обычно  $p_{\text{ош}} = 10^{-8} - 10^{-9}$ .

Подставляя значения, получаем следующий результат:

$$p_{\text{ош}} = 10^{-11} \cdot 138 = 0,138 \cdot 10^{-8}$$

Действительно, вероятности ошибок отводимые на длины регенерационного участка находится в пределах  $10^{-8} - 10^{-9}$ .

#### **4.10 Определение уровня передачи мощности оптического излучения на выходе передающего оптического модуля (ПОМ)**

Уровень передачи мощности оптического излучения на выходе ПОМ, дБм, определяется по формуле

$$P_{\text{пер}} = P_{\text{с}} - \Delta P,$$

где  $P_{\text{с}}$  - уровень средней мощности оптического сигнала на выходе источника излучения;

$\Delta P$  - снижение уровня средней мощности, зависящее от характера сигнала (для кода NRZ -3дБ, для RZ -6дБ).

$$P_{\text{пер}} = -1,5 - (-3) = 1,5 \text{ дБ.}$$

#### **4.11 Определение уровня мдм (порога чувствительности приемного оптического модуля – ПРОМ)**

Уровень МДМ (порог чувствительности ПРОМ):  
для *pin*-фотодиода

$$P_{\text{min}} = \begin{cases} -55 + 11 \lg B, & \text{при } B < 50 \text{ Мбит/с} \\ -55 + 10 \lg B, & \text{при } B \geq 50 \text{ Мбит/с} \end{cases};$$

Подставим значения:  $P_{\text{min}} = -55 + 10 \lg(155,520) = -33,08 \text{ дБ.}$

#### **4.12 Определение быстродействия системы**

Допустимое быстродействие зависит от характера передаваемого сигнала, скорости передачи информации и определяется по формуле

$$t_{\Sigma} = \frac{\beta}{B},$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий характер линейного сигнала (линейного кода), для кода NRZ  $\beta = 0,7$ ; для остальных  $\beta = 0,35$ .

Общее ожидаемое быстродействие ВОСП, с, рассчитывается по формуле

$$t_{\text{ож}} = 1,111\sqrt{t_{\text{пер}}^2 + t_{\text{пр}}^2 + t_{\text{ОВ}}^2},$$

где  $t_{\text{пер}} = (0,5 \dots 10)$  нс – быстродействие ПОМ;

$t_{\text{пр}} = (0,2 \dots 20)$  нс – быстродействие ПРОМ;

$t_{\text{ОВ}}$  – уширение импульса на длине регенерационного участка:

$$t_{\text{ОВ}} = \tau l_{\text{py}},$$

где  $\tau$  – дисперсия оптического волокна, с/км.

Подставляя все необходимые значения в выражения получим следующий результат:

$$t_{\Sigma} = \frac{0,35}{155,520} = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$t_{\text{ОВ}} = 138 \cdot 3,5 \cdot 10^{-12} = 0,48 \text{ нс};$$

$$t_{\text{ож}} = 1,111\sqrt{5^2 + 10^2 + 0,48^2} = 12,432 \text{ нс}.$$

Если выполняется следующее неравенство:

$$t_{\text{ож}} < t_{\Sigma},$$

то выбор оптического кабеля сделан верно. Запас по быстродействию, с, определяется разностью:

$$\Delta t = t_{\text{ож}} - t_{\Sigma}$$

Проверим правильность кабеля и рассчитаем запас по быстродействию:

$$12,432 \cdot 10^{-9} < 2,25 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta t = |12,432 \cdot 10^{-9} - 2250000 \cdot 10^{-9}| = 2,24998756 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

#### 4.13 Расчет характеристик проектируемого кабеля

Исходные данные: сердцевина  $2a = 10$  мкм; оболочка  $2b = 125$  мкм; показатели преломления:  $n_1 = 1,51$ ;  $n_2 = 1,5$ ; длина волны  $\lambda = 1,55$  мкм; длина волны  $l = 30$  км; ширина спектральной линии лазера 2 нм.

Расчет осуществляется следующим образом:

1) относительное значение показателей преломления:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1,51 - 1,5}{1,51} \approx 0,007;$$

2) числовая апертура

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1,51^2 - 1,5^2} = 0,263;$$

3) нормированная частота

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{1,55 \cdot 10^{-6}} \sqrt{1,51^2 - 1,5^2} = 0,5;$$

4) критическая частота (для одномодовой передачи коэффициент  $P_{nm} = 2,40$ )

$$f_0 = \frac{P_{nm} c}{\pi d \sqrt{n_1^2 - n_2^2}} = \frac{2,405 \cdot 3 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \sqrt{1,51^2 - 1,5^2}} = 9,2 \cdot 10^{14} \text{ Гц};$$

5) критическая длина волны

$$\lambda_0 = \frac{\pi d}{P_{nm} n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{3,14 \cdot 1,51 \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{2,405 \cdot 1,51} \sqrt{1,51^2 - 1,5^2} = 2,27 \text{ мкм};$$

6) потери энергии на поглощение

$$\alpha_n = \frac{\pi n_1 \text{tg} \delta}{\lambda} 8,69 \cdot 10^3 = \frac{3,14 \cdot 1,51 \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{1,51 \cdot 10^{-6}} 8,69 \cdot 10^3 = 0,53 \text{ дБ/км};$$

7) потери на рассеяние

$$\alpha_p = K_p / \lambda^4 = 1,3 / 1,55^4 = 0,224 \text{ дБ/км};$$

8) общие потери

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_p = 0,53 + 0,224 = 0,754 \text{ дБ/км}$$

9) потери в инфракрасном диапазоне (при  $\lambda = 2 \text{ мкм}$ )

$$\alpha_{нк} = C_{нк} e^{-k/\lambda} = 0,9 e^{-(0,8 \cdot 10^{-6}) / (2 \cdot 10^{-6})} = 0,6 \text{ дБ/км};$$

10) волноводная дисперсия (см. рис. 2.28)

$$\tau_{вв} = \Delta \lambda / V(\lambda) = 2 \cdot 30 \cdot 3 \cdot 10^{-12} = 180 \text{ пс/(км*нм)};$$

11) материальная дисперсия (рис. 2.28)

$$\tau_{мат} = \Delta \lambda / M(\lambda) = 2 \cdot 30 \cdot (-20 \cdot 10^{-12}) = -1200 \text{ пс/(км*нм)};$$

12) результирующая дисперсия

$$\tau_{рез} = \tau_{вв} + \tau_{мат} = 180 - 1200 = -1020 \text{ пс/(км*нм)};$$

13) пропускная способность

$$\Delta F = 1/\tau = 1/1020 \cdot 10^{-12} = 980 \text{ МГц};$$

14) границы изменения фазовой скорости:

$$c/n_1 = 3 \cdot 10^5 / 1,51 = 198000 \text{ км/с};$$

$$c/n_2 = 3 \cdot 10^5 / 1,5 = 200000 \text{ км/с};$$

15) границы изменения волнового сопротивления:

$$Z_0/n_1 = 376,7/1,51 = 249,47 \text{ Ом};$$

$$Z_0/n_2 = 376,7/1,5 = 251,13 \text{ Ом};$$

Проверим параметры расчета, используя программу на языке Delphi

## Программа на алгоритмическом языке Delphi

Листинг программы - расчет параметров оптоволокна

```
unit VOSP;
interface
```

```

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs,
  StdCtrls, Buttons;
type
  TForm01 = class(TForm)
    GroupBox01 : TGroupBox;
    Label01 : TLabel;
    Button01 : TButton;
    GroupBox02 : TGroupBox;
    Label02 : TLabel;
    Button02 : TButton;
    Label03 : TLabel;
    GroupBox03 : TGroupBox;
    Label04 : TLabel;
    Button03 : TButton;
    Label05: TLabel;
    BitBtn01: TBitBtn;
    procedure Button01Click (Sender : TObject);
    procedure Button02Click (Sender : TObject);
    procedure Button03Click (Sender : TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form01: TForm01;
implementation
uses Vosp01, Vosp02, Unit04;
{$R *.DFM}
procedure TForm01.Button01Click(Sender: TObject);
begin
  form01.hide;
  form02.show;
  form02.Button01.Enabled:=true
end;

procedure TForm01.Button02Click(Sender: TObject);
begin
  form01.Hide;
  form03.show
end;
procedure TForm01.Button03Click(Sender: TObject);
begin

```

```

        form01.hide;
        form04.show
    end;
end.
unit Vosp01;
interface
uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs,
    StdCtrls,math;
type
    TForm02 = class(TForm)
        GroupBox01: TGroupBox;
        Label01: TLabel;
        Edit01: TEdit;
        Label02 : TLabel;
        Edit02 : TEdit;
        Label03 : TLabel;
        Edit03 : TEdit;
        Label04 : TLabel;
        Edit04 : TEdit;
        Button01 : TButton;
        GroupBox02 : TGroupBox;
        Lab
El06: TLabel;
        Edit06 : TEdit;
        Label07 : TLabel;
        Edit07 : TEdit;
        Label08 : TLabel;
        Edit08 : TEdit;
        Label09 : TLabel;
        Edit09 : TEdit;
        Label01 : TLabel;
        Label01: TLabel;
        Edit05: TEdit;
        Edit10 : TEdit;
        Edit03 : TEdit;
        Edit04 : TEdit;
        Edit05
3 : TEdit;
        Edit04 : TEdit;
        Label05 : TLabel;
        Label012 : TLabel;
        Label103: TLabel;
        Label104: TLabel;

```

```

    Button02: TButton;
    procedure Button01Click(Sender: TObject);
    procedure Button02Click(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;
var
    Form02: TForm02;
implementation
uses VOSP;
{$R *.DFM}
procedure TForm02.Button01Click(Sender: TObject);
var
    na,v,acc,sm,ob,p,n,delta,k,ma,f,me,h,h1: real;
    ai,li:array [1 .. 3] of real;
    i : integer;
begin
    button01.Enabled:=false;
    na := sqrt(strtfloat(edit01.text)*strtfloat(edit01.text)-
strtfloat(edit02.text)*strtfloat(edit02.text));
    na:=arcsin(na);
    v:= (pi*strtfloat(edit03.text)*na)/strtfloat(edit04.text);
    acc:=(pi*strtfloat(edit03.text)*na)/02.0405;
    ob:= 0.080+0.5490*sqr(2.8340-v);
    delta:=(strtfloat(edit01.text)-strtfloat(edit02.text))/strtfloat(edit01.text);
    p:= (strtfloat(edit02.text)*delta)/(strtfloat(edit04.text)*300000000);
    h:=0;
    ai[1]:=0.0000000691116;
    ai[2]:=0.0000000399166;
    ai[3]:=0.0000000890423;
    li[1]:=0.000000068227;
    li[2]:=0.0000000116460;
    li[3]:=0.0000000599662;
    while (k > -2.15)or(k<-5.5) do
    begin
        for i:=1 to 3 do
            begin
ma:=ma+((ai[i]+h1)*(li[i]+h))*(3*(strtfloat(edit04.text)*strtfloat(edit04.text))
+(li[i]+h)*(li[i]+h))/((strtfloat(edit04.text)*strtfloat(edit04.text)-
(li[i]+h)*(li[i]+h)*(strtfloat(edit04.text)*strtfloat(edit04.text)-
(li[i]+h)*(li[i]+h))*(strtfloat(edit04.text)*strtfloat(edit04.text)-
(li[i]+h)*(li[i]+h))));

```



```

me:=me+((ai[i]+h1)*(li[i]+h))/((strtofloat(edit04.text)*strtofloat(edit04.text))-
(li[i]+h)*(li[i]+h));
    me:=me/strtofloat(edit1.text)
end;
k:=((ma-(me*me))/strtofloat(edit01.text))+(ob*p);
h:=h+0.00000001;
h1:=h1+0.000000001
end;
edit06.text:= floattostr(na);
edit07.text:= floattostr(v);
edit08.text:= floattostr(acc);
edit09.text:= floattostr(k);
edit05.text:= floattostr(ai[1]+h1-0.000000001);
edit010.text:= floattostr(ai[2]+h1-0.000000001);
edit013.text:= floattostr(ai[3]+h1-0.000000001);
edit011.text:= floattostr(li[1]+h-0.00000001);
edit012.text:= floattostr(li[2]+h-0.00000001);
edit014.text:= floattostr(li[3]+h-0.00000001);
end;
procedure TForm02.Button02Click(Sender: TObject);
begin
    form10.show;
    form10.Button2.Enabled:=true;
    form20.close
end;
end.

unit Vosp02;
interface
uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs,
    StdCtrls;
type
    TForm03 = class(TForm)
        Label01: TLabel;
        Edit10: TEdit;
        Button01: TButton;
        procedure Button01Click(Sender: TObject);
        procedure FormCreate(Sender: TObject);
        procedure FormActivate(Sender: TObject);
    private
        { Private declarations }
    public

```

```

    { Public declarations }
end;
var
    Form03: TForm03;
implementation
uses VOSP;
const
    ls=6.40;
    ass=0.40;
    ar=0.50;
    nr=2.0;
    az=5.0;
    p1=2.0;
    p2=-40.0;
var
    e,lrn,ak:real;
{$R *.DFM}
procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    form01.show;
    form03.Close
end;
procedure TForm03.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    form03.Hide;
end;
procedure TForm03.FormActivate(Sender: TObject);
begin
    lrn:=0;
    ak:=strtofloat(inputbox());
    e:= p1-p2;
    lrn:=(e-ar*nr-az)/(ak+ass/ls);
    form03.Edit01.Text:=floattostr(lrn)
end;
end.

unit Vosp03;
interface
uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs,
    StdCtrls;
type
    TForm04 = class(TForm)
        Label01: TLabel;

```

```

Label02: TLabel;
Label03: TLabel;
Label04: TLabel;
Label05: TLabel;
Label06: TLabel;
Edit01: TEdit;
Edit02: TEdit;
Edit03: TEdit;
Edit04: TEdit;
Edit05: TEdit;
Edit06: TEdit;
Button01: TButton;
GroupBox01: TGroupBox;
Button02: TButton;
procedure Button01Click(Sender: TObject);
procedure Button02Click(Sender: TObject);
procedure FormDeactivate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Edit06Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form04: TForm04;
implementation
uses VOSP;
const
  h=6.620e-34;
  q=1.60e-19;
  c=3e+8;
  a=1.550e-6;
  k=1.380e-23;
{$R *.DFM}
procedure TForm04.Button01Click(Sender: TObject);
var
  i,f,kapa,r,d,sigshum,ppor,b:real;
begin
  i:=strtofloat(edit01.text)*6.30e-5;
  f:=c/a;
  kapa:=strtofloat(edit01.text)*h*f/q;
  r:=1/(2*pi*3.50e+9*strtofloat(edit02.text));
  sigshum:=i*i/(2*q*strtofloat(edit04.text)*(i+strtofloat(edit03.text))

```

$$+(4*k*strtofloat(edit04.text)*300*strtofloat(edit05.text))/r);$$

$$b:=(q*strtofloat(edit03.text)+(2*k*300*strtofloat(edit05.text))/r)/(1e+3*(q*q)*5.8$$
  
$$*3.5e+9);$$

```
    ppor:=(2*q*3.5e+9*5.8*(1+sqrt(1+b)))/strtofloat(edit01.text);
end;
procedure TForm04.Button02Click(Sender: TObject);
begin
    form04.Close;
    form01.show
end;
procedure TForm04.FormDeactivate(Sender: TObject);
begin
    form01.show
end;
procedure TForm04.FormClose(Sender: TObject; var Action:
TCloseAction);
begin
    form01.show
end;
procedure TForm04.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    button01.Enabled:=false
end;
procedure TForm04.Edit06Change(Sender: TObject);
begin
    if edit06.Text="" then
        button01.Enabled:=false
    else
        button01.Enabled:=true
end;
end.
```

Скриншот – результат работы программы

Расчет числовой апертуры, дисперсионных характеристик волокна, широкополосн...

Расчет и ввод параметров

Показатель преломления сердцевины $n_1$	1,51
Показатель преломления оболочки $n_2$	1,5
Диаметр сердцевины $d$	0,000010
Рабочая длина волны $\lambda$	0,00000155

Расчет

Результаты

Числовая апертура	0,263
Нормированная частота	0,5
Общие потери	0,754
Удельная хроматическая дисперсия	10,2 E-12

Закреть

Рисунок 22 - Окно программы расчета основных характеристик кабеля для широкополосной сети

## **5 Бизнес-план**

### **5.1 Резюме**

В связи с современной тенденцией увеличения нужд населения в качественных услугах связи, возникла необходимость увеличить количество каналов, что приведет к увеличению объема предоставляемых услуг, а также получению еще большей прибыли.

Поэтому целью данной выпускной работы является применение на участке «Кордай- Отар» нового оборудования DWDM фирмы Nokia Siemens Networks.

Цель – получить максимально возможную прибыль. Увеличить емкость национальной сети Республики Казахстан за счет внедрения новой цифровой техники.

Для реализации проекта потребуется взять в кредит 1995269,02 тыс.тг. под 10 % годовых. Срок погашения кредита – 5 лет.

Расчетный срок окупаемости данного проекта составит 1,2 года.

### **5.2 Цели и задачи**

В современных условиях увеличился спрос на продукцию связи на данном участке. Имеющаяся цифровая магистраль с оборудованием SDH на данном этапе развития сетей телекоммуникаций морально устарела. Решением данной проблемы является переход к использованию новых технологий передачи информации и применение современного оборудования типа DWDM, отвечающего мировым стандартам, что подразумевает ряд преимуществ, обусловленных такими характеристиками как:

- большая пропускная способность;
- большая длина регенерационных участков;
- малое затухание;
- большая помехозащищенность;
- малая стоимость 1 канала-километра.

Данное оборудование будет обеспечивать высокое качество передачи информации с высокой скоростью.

### **5.3 Стратегия маркетинга**

Ценовая политика: В договоре с арендатором цены фиксированы и не подлежат воздействию спроса и предложения. Индексация предусмотрена только в соответствии с инфляцией.

Мероприятия по предоставлению товара на рынок: Эти мероприятия в основном связаны с проведением компании по рекламированию услуг междугородней связи:

разработка и выпуск общего рекламного проекта АО «Казахтелеком».

размещение рекламных материалов в специализированных печатных изданиях.

съемка видеофильма с демонстрацией ВОСП.

заключение договоров об аренде каналов или групп каналов.

## 5.4 Организационный план

Для осуществления проекта ВОСП необходимы следующие расходы, указанные в в приложении Д. Нормативы взяты со «Сметных норм и расценок на строительные работы для строительства ВОСП (СНИР-91)», со «Сводного сметного расчета на соединительные ВОЛС», «Сметных расчетов для удорожания стоимости кабельной и станционной продукции по договорам и другим ценам, превышающим базисный уровень», утвержденные АО «Казахтелеком».

Исходя из данных предоставленных АО «Казахтелеком» количество необходимого для реализации проекта оборудования представлено в приложении Д.

### 5.4.1 Расчет штата

Чтобы определить общий штат по обслуживанию линии связи, надо рассчитать штат по обслуживанию линейных сооружений, штат по обслуживанию ЛАЦ. Данные взяты по «Нормативам трудоемкости и численности эксплуатационной деятельности предприятий отрасли «связь» [15].

Штат по обслуживанию линейных сооружений рассчитывается по формуле :

$$P_{\text{л}} = (L \cdot \frac{H}{168}) \cdot 1,06,$$

где  $L$  – длина трассы, 1067 км;

$H_{\text{шт}}$  – штатный норматив 4 чел, в месяц на 1 км;

168-среднемесячная норма рабочего времени одного работника, ч;

1,06 – коэффициент, учитывающий резерв работников на подмену во время очередных отпусков;

$$P_{\text{л}} = (1067 \cdot \frac{4}{168}) \cdot 1,06 = 27 \text{ чел.}$$

Штат ЛАЦ ОРП и ЛАЦ ОП берется аналогично. Для обслуживания данного вида аппаратуры достаточно одного магистрального инженера и четырех сменных электромехаников:

На магистрали имеется 6 ОРП и 2 ОП и на каждый ОРП и ОП требуется 1 ремонтно-восстановительная бригада.

$$P_{орп} = (1+4) \cdot (6+2) = 40 \text{ (чел.)}$$

- Штат ремонтно-восстановительной бригады состоит:
- начальник бригады – 1;
- инженер линейно-кабельных сооружений – 2;
- инженер по ремонту электроэнергетического оборудования – 1;
- кабельщик-спайщик – 2;
- водитель - 2.
- 

$$P_{рвб} = (1+2+1+2+2) \cdot 8 = 64 \text{ (чел.)}$$

Результат расчетов штата производственных работников в таблице 9

Таблица 9 – Штат производственных работ

Наименование должностей	Количество штатных единиц, чел.
1 Штат для обслуживания линий связи	27
2 Штат ОРП	40
3 Штат РВБ	64
Всего:	131

#### 5.4.2 Производственный план

Сроки строительства ВОЛС

начало: 01.04.2014г;

окончание: 31.03.2015г.

АО «Казахтелеком» заключает контракт с компанией Nokia Siemens Networks на строительство, монтаж и наладку оборудования DWDM. Фирма обязуется окончить строительство в установленные сроки со сдачей в эксплуатацию.

Осуществление проекта возложено на АО «Казахтелеком». Строительство ВОСП длиной 78 км.

#### 5.5 Финансовый план

Для определения суммы в кредит при проектировании ВОЛС требуется рассчитать затраты. Затраты на проектирование приведены в таблице 10



Таблица 10 – Расчет инвестиций

Наименование	Норматив инвестиций, тыс.тг.	Общая сумма, тыс.тг.
1.Линейно-кабельные сооружения		
Кабель 12- волоконный, км	413,24	440927,08
Полиэтиленовая труба, км	156,58	167070,86
Муфта, шт	31,545	3911,58
Прокладка и монтаж кабеля		436138,78
Прочие расходы		69827,6
2. Станционные сооружения:		
DWDM мультиплексор (с питанием, с программным обеспечением), шт	15189	75945
Оптический усилитель, шт	3885,708	7771,416
Сервер системы управления, шт	5400	5400,0
3 Измерительные приборы:		
Анализатор спектра HP 37718A «АТ»,шт	7450	74500,0
Рефлектометр МТС 5/100, шт	3050	21350
Сварочные аппараты, шт	4300	60200
Излучатель мощности OLD, шт	3820	30560
Тестер цифровой EDCT-2,шт	1700	17000
Оптический телефон PTS-20,шт	7940	111160
Прочие расходы: (расходный материал и инструменты для монтажно-настроечных работ) приборы.	497	9940,0
4 Затраты на монтаж и наладку оборудования 20 %		306340,463
Подготовительные работы (10 %): Изыскательные работы и проектно-сметная док-ция.		153170,232
5 Затраты на обучение обслуживающего персонала.		3256,0
6 Затраты на рекламную кампанию		800,0
Итого.		1995269,02

Взять в кредит потребуется 1995269,02 тыс. тг. под 10% годовых.  
Срок погашения кредита – 5 лет.

#### 5.5.1 Эксплуатационные расходы

Определим затраты на эксплуатацию ВОСП:

Средняя заработная плата на одного служащего составляет 70600 тг.

На момент настройки оборудования принимают в штат 9 человек на 1 месяц.

Заработная плата за срок строительства:

$$ЗП1 = 9 \cdot 12 \cdot 70600 = 7624,8 \text{ тыс. тг.}$$

Годовой фонд оплаты труда по штатам ОРП, РВБ, ОЛС:

$$ЗП2 = 131 \cdot 12 \cdot 70600 = 110983,2 \text{ тыс. тг}$$

Дополнительная заработная плата:

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,3 \cdot ЗП2 = 0,3 \cdot 110983,2 = 33294,96 \text{ тыс. тг.}$$

Расходы по заработной плате определяются по формуле :

$$\text{ФОТ} = ЗП1 + ЗП2 + ЗП_{\text{доп}} ,$$

$$\text{ФОТ} = 7624,8 + 110983,2 + 33294,96 = 151902,96 \text{ тыс.тг}$$

Социальный налог составляет 11% от ФОТ (4.3):

$$\text{Осн} = 0,11 \cdot (\text{ФОТ} - 0,1\text{ФОТ})$$

$$\text{Осн} = 0,11 \cdot (151902,96 - 0,1 \cdot 151902,96) = 136712,66 \text{ тыс.тг.}$$

Амортизационные отчисления для отрасли связи составляют 15% в год:

$$A = 0,15 \cdot K,$$

где K – сумма инвестиций (1995269,02)

$$A = 0,15 \cdot 1995269,02 = 299290,35 \text{ тыс. тг.}$$

Материалы и запасные части составляют 2% в год (7.5):

$$M = 0,02 \cdot K$$

$$M = 0,02 \cdot 1995269,02 = 39905,38 \text{ тыс. тг}$$

Электроэнергия:

$$C_{\text{эл}} = W \cdot C_{\text{квт}} \cdot N_{\text{рп}} \cdot 8760;$$

где W- потребляемая мощность одного регенерационного пункта в час (W= 3 кВт/ч);

Цквт – цена киловатта энергии (Цквт = 14,19 тг.);

N<sub>рп</sub> – количество регенерационных пунктов ( N<sub>рп</sub> = 4 );

8760 – количество часов в году.

$$C_{\text{эл}} = 1 \cdot 14,19 \cdot 3 \cdot 8760 = 372913 \text{ тыс.тг.}$$

Накладные расходы: (20 % от основных расходов)

$$H = 0,2 \cdot C_{\text{эл}},$$

$$H = 0,2 \cdot 372913 = 74582,6 \text{ тыс. тг.}$$

Годовые эксплуатационные расходы определяются по:

$$Э_{\text{год}} = \Phi_{\text{от}} + O_{\text{сн}} + A + M + C_{\text{эл}} + H + K_{\text{с}} + K_{\text{и}} + P$$

где P - Затраты на рекламную кампанию;

K<sub>с</sub>– сумма выплаты кредита за год

$$K_{\text{с}} = K \cdot 5 = 1995269,02 \cdot 5 = 9976345,1 \text{ тыс. тг.}$$

K<sub>и</sub> – сумма кредитных процентов;

$$K_{\text{и}} = K \cdot 0,1 = 1995269,02 \cdot 0,1 = 199526,9 \text{ тыс. тг.}$$

$$Э_{\text{год}} = 151902,96 + 136712,66 + 299290,35 + 39905,38 + 372913 + 74582,6 + 9976345,1 + 199526,9 + 800 = 11405888,38 \text{ тыс. тг.}$$

Расчеты эксплуатационных затрат сведем в таблицу 11

Таблица 11 – Расчеты эксплуатационных затрат

Статьи затрат	Сумма затрат, тыс. тг.	Уд.вес, %
1 Фонд оплаты труда	151902,96	6,47
2 Социальный налог	136712,66	0,75
3 Амортизационные отчисления	299290,35	22,18
4 Материалы и запасные части	39905,38	2,95
5 Накладные расходы	130483,33	9,67
6 Расходы на электроэнергию	372913	13,53
7 Сумма кредитных процентов	199526,9	14,78
8 Сумма выплат кредита в год	399053,8	29,57
9 Затраты на рекламную кампанию	800,0	0,06

На рисунке 23 приведена диаграмма, отражающая структуру производственных эксплуатационных затрат.



Рисунок 23 – Структура эксплуатационных затрат

### 7.5.2 Доходы и экономическая эффективность

Годовая сумма доходов определяются по формуле (7.9):

$$D = Q \cdot C_{AK} \cdot K;$$

где Q- число сдаваемых в аренду каналов (7580 каналов, т.е.25% от общего количества каналов).

Данные взяты в АО «Казахтелеком» в группе доступа к СТОП и аренды каналов.

Так – цена одного цифрового канала в час 200 тг.

Определим доход от аренды каналов в год

$$D = k \cdot 8760 \cdot 0,3,$$

где k- количество часов (в году=8760 часов, т.к. оборудование используется не на 100 %, а примерно на 25 % берем 2190 часов).

$$D = 7580 \cdot 2190 \cdot 250 = 4150050 \text{ тыс. тг.}$$

Чистый доход от хозяйственной деятельности определяются по формуле :

$$\text{ЧДосн} = D - \text{Эр}$$

$$\text{ЧДосн} = 4150050 - 1349281,25 = 2800768,75 \text{ тыс. тг.}$$

Налог с прибыли 20 % в бюджет рассчитаем по формуле :

$$\text{Нп} = 0,2 \cdot \text{ЧДосн},$$

$$Нп = 0,2 \cdot 2800768,75 = 560153,75 \text{ тыс. тг.}$$

Чистый доход предприятия рассчитаем по формуле :

$$ЧДпр = ЧДосн - Нп$$

$$ЧДпр = 2800768,75 - 560153,75 = 2240615 \text{ тыс. тг.}$$

Коэффициент общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений рассчитаем по формуле :

$$E = \frac{(Д - Э)}{К}$$

где Д – доходы от основной деятельности

Э – эксплуатационные расходы;

К - капитальные вложения.

$$E = (4150050 - 1349281,25) / 1995269,02 = 1,4$$

Период окупаемости для проекта найдем по формуле :

$$PP = \frac{1995269,02}{2800768,75} = 0,7 \text{ лет или 8 месяцев.}$$

### 7.5.3 Расчет экономической эффективности с учетом дисконтирования

Так же определим капитальные вложения методом расчета абсолютной величины чистого дохода NPV [16].

Коэффициент PV – это коэффициент дисконтирования или норматив приведения, при установлении которого следует учитывать инфляционное изменение покупательной способности денег в течение рассматриваемого периода времени, необходимость обеспечения минимального гарантированного уровня доходности и риск инвестора. Ставка прибыли равна 20 % в год.

Чистая приведенная стоимость определяется по формуле :

$$NPV = \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I$$

где  $I_0$  - сумма первоначальных затрат, т.е. сумма инвестиций на начало проекта;

CF - современная стоимость денежного потока на протяжении экономической жизни проекта.

В этом случае коэффициент дисконтирования рассчитываем по формуле:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+r)^t};$$

где  $\alpha_t$  - коэффициент дисконтирования;

$r$  - норма дисконта;

$t$  - номер шага расчета.

$r=20\%$  годовых;

Составляем таблицу 12, в которой произведем расчеты по вышеприведенным формулам.

Таблица 12 – Расчет показателей эффективности инвестиций с учетом нормы дисконта равной 20 %

Показатели	Проектный период				
	1	2	3	4	5
Чистый денежный поток, млн.тг	1960,5	1960,5	1960,5	1960,5	1960,5
Инвестиционные затраты, млн.тг	1995,3				
Норма дисконта	0,2				
Коэффициент дисконтирования	0,83	0,2	0,2	0,2	0,2
Чистая текущая стоимость (PV), млн.тг	1633,8	0,69	0,58	0,48	0,40
Чистый дисконтированный поток(NPV), млн.тг	3867,9 4	1361,5	1134,6	945,5	787,9
Чистая текущая стоимость с нарастающим итогом, млн. тг	361,5				

На рисунке 24 приведен график экономической эффективности.

График периода окупаемости

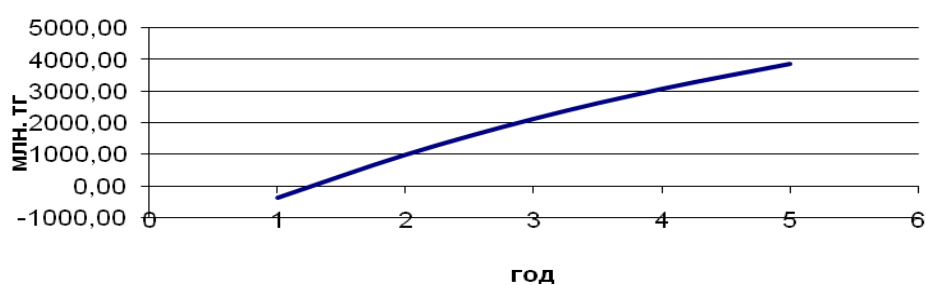


Рисунок 24 – Срок окупаемости проекта с учетом дисконтирования

В данном расчете период окупаемости инвестиций с учетом дисконтирования наступит через 1,2 года.

Все основные показатели данного проекта приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Показатели экономической эффективности проектируемой ВОЛС Кордай Отар

Наименование статей затрат	Показатели
Капитальные вложения, млн. тенге	1995,269
Наименование статей затрат	Показатели
Эксплуатационные расходы, млн. тенге	1349,28
Доход от основной деятельности, млн. тенге	4150,05
Прибыль, млн. тенге	2800,77
Срок окупаемости без дисконтирования, год	0,7
Срок окупаемости с дисконтированием, год	1,2
Чистый дисконтированный доход (NPV), млн.тг	3867,94

Расчетный срок окупаемости данного проекта без дисконтирования 7 месяцев, а с дисконтированием – 1,2 года, что не превышает нормативных показателей – 5 лет.

Расчетный коэффициент экономической эффективности 1,4, что не ниже нормативного – 0,15.

Данные показатели показывают, что строительство ВОСП на участке Кордай Отар экономически выгодно.

## **6 Безопасность жизнедеятельности**

В современных условиях увеличился спрос на продукцию связи в Казахстане, дальнем и ближнем зарубежье. Имеющаяся цифровая магистраль с оборудованием SDH на данном этапе развития сетей телекоммуникаций не справляется с увеличивающимся объемом трафика. Решением данной задачи является переход к использованию новых технологий передачи информации и применение современного оборудования типа DWDM, отвечающего мировым стандартам, что подразумевает ряд преимуществ, обусловленных такими характеристиками как:

- большая пропускная способность;
- большая длина регенерационных участков;
- малое затухание;
- большая помехозащищенность;
- малая стоимость 1 канало-километра.

Данное оборудование будет обеспечивать высокое качество передачи информации с большой скоростью.

### **6.1 Анализ условий труда сотрудников ЛАЦ**

Линейно аппаратный цех оборудован разнообразной аппаратурой, обеспечивающей техническую реализацию сети. Обслуживающий персонал дает контроль и непосредственное управление сетью.

В процессе труда на оператора, оказывают действие следующие опасные и вредные производственные факторы: повышенные уровни электромагнитного, рентгеновского, ультрафиолетового, инфракрасного излучения, недостаточной освещенности.

Для создания благоприятных условий труда важное значение имеет рациональное освещение. Неудовлетворительное освещение затрудняет проведение работ, ведет к снижению производительности труда и может явиться 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 [11].

#### **6.1.4 Расчет освещения линейно-аппаратного цеха**

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

Длина линейно-аппаратного цеха -  $A=14$  м, ширина -  $B=10$  м, высота -  $H=5$  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 :

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

где  $S_n$  - Площадь пола в производственном помещении,  $m^2$

$S_n = S_{пт}$  (Площадь потолка)  $= A \cdot B = 14 \cdot 10 = 140 \text{ м}^2$ .

Где -  $L_{\min}$  - минимальный коэффициент естественной освещенности;

$L_{\min} = 3$  - работа большой точности (разряд работ - 3);

$\eta_0$  - 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.

Но для этого определим параметры окна Н1:

а) параметр окна - Н1, м

Н1 - возвышение верхнего края окна над горизонтальной рабочей поверхностью, м;

$h_1 = h_0 + h - h_{\text{раб.}}$

$H_0 = 3 \text{ м}$  - высота окна,  $H = 1,0 \text{ м}$  - расстояние от пола до подоконника,  
 $H_{\text{раб}} = 1,5 \text{ м}$  - высота рабочей поверхности над уровнем пола.

$H_1 = 3 + 1,0 - 1,5 = 2,5 \text{ м}$

Находим значение  $\eta_0$

$\eta_0 = 20$

При этом  $r_1$  зависит от средневзвешенного коэффициента отражения света от ограждающих поверхностей помещения  $\rho_{\text{ср}}$ . Этот коэффициент находится из соотношения :

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_n \cdot S_n + \rho_{\text{ст}} \cdot S_{\text{ст}} + \rho_{\text{пт}} \cdot S_{\text{пт}}}{S_n + S_{\text{ст}} + S_{\text{пт}}};$$

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

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

$$\rho_{\text{ср}} = (0,3 \cdot 140 + 0,3 \cdot 240 + 0,7 \cdot 140) / (2 \cdot 140 + 240) \approx 0,4;$$

$$r_1 = 4.$$

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

$$S_0 = (140 \cdot 3 \cdot 20 \cdot 1,7) / (100 \cdot 4) = 36 \text{ м}^2$$

Зная Площадь одного окна  $S = H_0 \cdot b_0 = 3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ м}^2$ , находим количество окон, необходимое для соблюдения нормируемой естественной освещенности в машинном зале:  $n = S_0 / S = 36 / 6 = 6$  окон:

где  $b_0 = 2,0 \text{ м}$  - ширина окна,  $n=6$  количество окон

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

$$b = \frac{A - n \cdot b_0}{n + 1};$$

$$b = \frac{(14 - 6 \cdot 2)}{(6 + 1)} = 0,285 \text{ м.}$$

#### 6.1.5 Расчет искусственного освещения

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  $A = 14 \text{ м}$ , ширину  $B = 10 \text{ м}$ , высоту  $H = 5 \text{ м}$ . Потолок свежее побеленный, 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  $\Phi_{\text{л}} = 3120 \text{ лм}$ . Коэффициенты отражения потолка, стен, пола

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

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

$$H = 5 - (1 + 0.3) = 3.7 \text{ м.}$$

Лучшее расстояние между светильниками определяется как:

$$Z = \lambda \cdot H, \text{ м}$$

где  $\lambda$  - коэффициент лучшего расстояния между светильниками,  
 $\lambda=0.6$  м.

$$Z = 0.6 \cdot 3.7 = 3 \text{ м}$$

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

Определяем индекс помещения по формуле :

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

Коэффициент использования равно

$$\eta = 73 \%$$

$$i = \frac{14 \times 10}{3,7 \times (14 + 10)} = 1,57.$$

Коэффициент запаса

$$K_3 = 1,2$$

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

$$N = \frac{E + K_3 + S \cdot Z}{N + \Phi_n \cdot \eta};$$

где  $E$  – заданная минимальная освещенность;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$S$  – освещаемая Площадь;

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

$n$  – число светильников (намеченное до расчета).

$$N = \frac{300 + 1,2 + 140 \times 1,2}{3120 \times 0,73} = 12 \text{ лам}$$

Размещаем в четыре ряда по три лампы на расстоянии между ними 0.8 м (учитывая, что длина лампы 12136 мм.

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

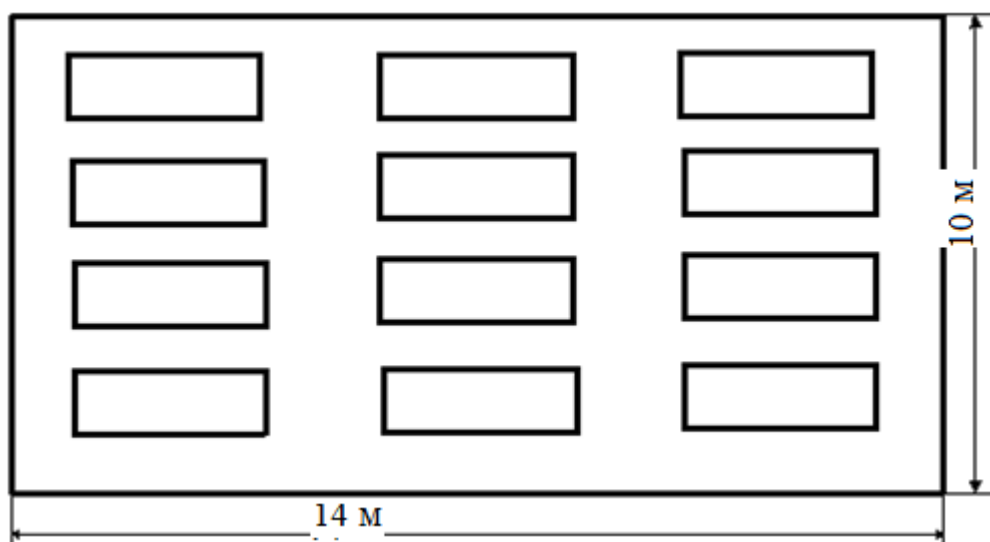


Рисунок 25 – Размещение лампы в зал

**Вывод:** Для обеспечения допустимой нормы освещенности необходимо 300 лк, по расчетам мы определили мощность лампочек равную 40 Вт.

## 6.2 Меры безопасности при прокладке кабеля

При строительстве ВОЛС проводят работы по прокладке кабеля как с использованием средств механизации, так и в ручную.

В рабочих чертежах на прокладку кабеля на планах находится трассы кабеля должны указываться опасные места производства работ, пересечения с газопроводами, нефтепроводами и другими продуктопроводами, с силовыми кабелями и магистральными кабелями связи, а также делаются предупреждающие надписи об осторожности проведения работ на пересечениях кабеля связи с этими подземными коммуникациями.

Для проведения работ по прокладке кабеля распоряжением руководителя предприятия должен быть назначен старший. При прокладке кабеля, на особо ответственных участках, обязательно присутствие руководителя работ (прораба, инженера, бригадира и т.п.).

При прокладке кабеля ручным способом на каждого работника должен приходиться участок кабеля массой не более 20 кг. При подноске кабеля к траншее на плечах или в руках все работники должны находиться по одну сторону от кабеля.

Размотка кабеля с движущихся транспортеров (кабельных тележек) должна выполняться по возможности ближе к траншее. Кабель должен разматываться без натяжения для того, чтобы его можно было взять, поднести и уложить в траншею.

Внутренний конец кабеля, выведенный на щеку барабана, должен быть закреплен. Транспортер должен иметь приспособление для торможения

вращающего барабана.

Прокладка кабеля кабелеукладчиками разрешается на участках, не имеющих подземных сооружений. Перед началом работы необходимо осмотреть основные элементы кабелеукладочного агрегата и убедиться в их исправности. При обнаружении неисправности работать на тракторе или кабелеукладчике запрещается.

При работе с машинами и механизмами (кабелеукладочной техникой), ручным вибрационным инструментом вредными факторами являются шум и вибрация. Следовательно, необходимо использовать индивидуальные средства защиты: рукавицы, защитные очки, вибро гасящие рукавицы, противозумовые наушники. Самым опасным фактором при строительстве ВОЛС является лазерное излучение, а самым вредным - работа с вибро инструментом.

С целью улучшения условий труда на объектах строительства применяются монтажно-измерительные машины, позволяющие монтажникам и измерителям выполнять сложные и утомительные работы, для чего дается соответствующее освещение, вентиляция воздуха, надлежащее рабочее место.

При выполнении монтажных работ следует помнить и выполнять меры безопасности при работах с оптическим кабелем, которые определяются его механическими и геометрическими параметрами.

Опасным фактором при сращивании оптического кабеля является то, что волокна в оптическом кабеле соединяются при помощи сварки электрической дугой с температурой 18000<sup>0</sup>С. Сварочный аппарат при сварке необходимо заземлять, все подключения и отключения прибора осуществляются при снятом напряжении питания, сварка проводится под закрытым кожухом. К работе допускаются лица квалификационной группой не ниже III и не имеющие медицинских противопоказаний. При монтаже оптических волокон необходимо помнить, что дуговой разряд, возникающий между электродами сварочного аппарата, может быть причиной возгорания горючих газов в смотровых устройствах телефонной канализации.

Также необходимо при механизированной прокладке ОК в кабельной канализации обеспечивать надежную служебную связь каждого колодца, в котором находится вспомогательный персонал; при работе с оптическими тестерами не допускать попадания излучения в глаза.

### **6.3 Меры первой помощи при поражении лазерным излучением**

Практически во всех телекоммуникационных системах для передачи сигналов применяется инфракрасное излучение (ИК). Это значит, что его невозможно обнаружить визуально. Ни в коем случае нельзя "заглядывать" в волокно. Специальные конверторы или визуализаторы могут преобразовать свет из инфракрасного в видимый диапазон, но даже тогда его будет трудно обнаружить при ярком освещении. Для определения

активности волокна лучше всего использовать датчик инфракрасного излучения.

При соединении волокон можно свести риск к минимуму, если держать конец волокна по направлению от себя. На самом деле в процессе соединения вообще не необходимо смотреть на торец волокна, так как оно обычно располагается под крышкой сварочного аппарата или внутри механического соединителя. Конец волокна должен находиться на расстоянии вытянутой руки, что также очень важно. Если он сломан, то свет на выходе рассеивается поврежденным торцом и не представляет особой опасности. Если конец волокна сколот, свет, наоборот, остается коллимированным.

Воздействие лазерного излучения на человека может вызывать поражение кожи и глаз. Первая помощь при повреждении роговой оболочки заключается в наложении стерильной повязки на пострадавший глаз и направлении пострадавшего в глазной стационар.

При работе с излучением лазеров опасности облучения подвергаются также открытые участки тела - кожные покровы, существует способность возгорания одежды при ее контакте с пучком лазерного излучения.

Первая помощь при ожогах кожи I и II степени, незначительных по площади сводится к наложению стерильной повязки и последующему направлению к хирургу.

#### Вывод.

При правильном соблюдений техники безопасности работы с использованием оптоволокна и ее эксплуатаций, можно обеспечить безопасность рабочего персонала. Для обеспечения нормируемой освещенности 300 лк, были выбраны оптимальные лампы мощностью 40 Вт.

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. Поражение прямым излучением возможно только в том случае, когда оператор направит включенный лазер непосредственно либо на участок кожи, либо в глаз.

Разработанный проект никакой опасности для окружающей среды не представляет и никакого вредного воздействия на нее не оказывает.

## **Заключение**

В данном дипломном проекте была рассмотрена тема: «Анализ потерь возникающих в процессе эксплуатации ВОЛС».

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. Но все эти достижения и внедрения будут не эффективны если не будут соблюдены нормы и Госты при строительстве и эксплуатации линий связи. В моей дипломной работе был сделан анализ причин вызывающих потери в оптическом тракте. Приведены методы и средства измерения потерь. А также даны практические рекомендации по уменьшению потерь.

В экономическом разделе была дана характеристика проекта и представлен бизнес-план проектируемой системы со сроком окупаемости проекта 1,5 года с учетом коэффициента дисконтирования. Также был разработан маркетинговый план, в котором был рассмотрен рынок и произведено сравнение.

## Список литературы

- 1 Баловленков Е. В. Какая линия перспективнее? // Вестник связи. 1992. №11, с. 28-29.
- 2 Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Современные проблемы волоконно – оптических линий связи. Волоконно – оптические кабели. М. НТЛ., 1999. 392 с.
- 3 Астапенко Ю.А., Сыромятников А.В., Тягнибедин И.А., Ягольников С.В. Обоснование порога обнаружения сигналов на фоне шумовых и импульсных помех в приемнике. Радиотехника. 1998. № 5, с. 116-120.
- 4 Сахарова Т.М., Кушниренко С.В. Снизить повреждаемость линейных сооружений магистральной связи. // Вестник связи. 1983. № 11.
- 5 Журнал «Строительство и Стройиндустрия», февраль 1998.
- 6 Носков Б.Д. Прокладка волоконно-оптических кабелей в пластмассовых трубопроводах. // Автоматика, телемеханика и связь. 1997. № 1, с. 5-6.
- 7 О правилах прокладки волоконно-оптических кабелей в пластмассовых трубопроводах. // Автоматика, связь, информатика. 1999. № 11, с. 39-40.
- 8 Воробьев П. З., Шиллинг Н. С., Детинко В. Ш. Строительство ВОЛС в земляном полотне. // АТиС. 1999. № 5.
- 9 Силантьев В.С. Особенности прокладки ОК. // Вестник связи. 1988. № 3
- 10 Бергарипов К.Х. Автореферат на соискание кандидата технических наук. М. 2002.
- 11 Попов Д.А., Нисенбаум Ф.А., Попова Г.А. Расчет и проектирование волоконно-оптических линий связи. // Автоматика, связь, информатика. 1999. № 11, с. 23-25.
- 12 Асс Э.А. Нормативно-техническая документация для проектирования, строительства и технической эксплуатации ВОСП ЖТ. // Автоматика, связь, информатика. 2000. № 9, с. 45-47.
- 13 Волоконно-оптическая техника. Техничко-экономический сборник. АО “ВОТ”. 1993. № 1.



## Приложение А – Расчет характеристик кабеля

Расчет числовой апертуры, дисперсионных характеристик волокна, широкополосн...

Расчет и ввод параметров

Показатель преломления сердцевины $n_1$	1,51
Показатель преломления оболочки $n_2$	1,5
Диаметр сердцевины $d$	0,000010
Рабочая длина волны $\lambda$	0,00000155

Расчет

Результаты

Числовая апертура	0,263
Нормированная частота	0,5
Общие потери	0,754
Удельная хроматическая дисперсия	10,2 E-12

Закреть