

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧ и КР)

**Оптические цифровые телекоммуникационные системы**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОШИБОК В ЦВОЛТ  
«ТРАНСПОРТ-8Х30»**

Руководство к лабораторной работе для студентов специальности  
210401 - Физика и техника оптической связи

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧ и КР)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. СВЧиКР

\_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2011 г.

**Оптические цифровые телекоммуникационные системы**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОШИБОК В ЦВОЛТ  
«ТРАНСПОРТ-8Х30»**

Руководство к лабораторной работе для студентов специальности  
210401 - Физика и техника оптической связи

Разработчики:

Студент группы 154

\_\_\_\_\_ Е.С. Черкашин

проф. каф. СВЧиКР

\_\_\_\_\_ А.П. Коханенко

проф. каф. СВЧиКР

\_\_\_\_\_ С.Н. Шарангович

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Цель работы .....  | 4  |
| 1. Введение .....  | 4  |
| 2. Причины возникновения ошибок .....                          | 4  |
| 3. Расчётная часть.....  | 6  |
| 3.1 Энергетический бюджет .....                                | 6  |
| 3.2 Коэффициент ошибок .....                                   | 6  |
| 3.3 Затухание на макроизгибах .....                            | 8  |
| 3.1 Оценка времени эксперимента.....                           | 9  |
| 4. Аппаратура и программное обеспечение.....                   | 9  |
| 4.1 Назначение аппаратуры ЦВОЛТ серии «Транспорт-8х30».....    | 9  |
| 4.2 Структура комплекта аппаратуры «Транспорт 8х30» .....      | 10 |
| 4.3 Программное обеспечение «Центр управления ЦВОЛТ» .....     | 12 |
| 5. Схемы и методики проведения экспериментов.....              | 13 |
| 5.1 Исследование влияния затухания на коэффициент ошибок.....  | 13 |
| 5.2 Исследование влияния деформации на коэффициент ошибок..... | 15 |
| 5.3 Исследование влияния шумов на коэффициент ошибок .....     | 16 |
| 6. Порядок выполнения работы .....                             | 18 |
| 6. Содержание отчёта.....                                      | 21 |
| Список литературы.....   | 22 |

## **Цель работы:**

- 1) Ознакомление с причинами возникновения ошибок в линейном тракте.
- 2) Изучение методики снятия значений коэффициента ошибок в линейном оптическом тракте аппаратуры серии «Транспорт».
- 3) Изучение влияния затухания в линии на коэффициент ошибок.
- 4) Изучение влияния деформации ОВ на коэффициент ошибок.
- 5) Изучение влияния шумового излучения в линии на коэффициент ошибок.

## **1. Введение**

Для обеспечения эффективной работы волоконнооптических систем передачи (ВОСП) очень важным является вопрос определение и прогнозирование возникающих ошибок в процессе передачи сигнала по оптической линии. Не менее важным является и правильная конфигурация сети для эффективной передачи информации по ней. Высокий коэффициент ошибок или неправильная конфигурация сети высокой информационной емкостью может привести к закрытию большого количества коммуникационных каналов.

На практике при анализе коэффициента ошибок инженер должен понимать причины их возникновения и возможные выходы из сложившейся ситуации. Современные ЦВОЛТ позволяют вести обработку коэффициента ошибок в автоматическом режиме и сигнализировать аварийное состояние трактов в случаи превышения заданного порога.

## **2. Причины возникновения ошибок**

Работа цифровых систем связи считается нормальной только в том случае, если коэффициент битовых ошибок BER не превышает определённый допустимый уровень, зависящий от используемого сетевого стандарта. Современные линии связи строятся так, чтобы удовлетворить любому сетевому стандарту. Поэтому при их расчёте и строительстве закладываются достаточно жёсткие ограничения уровня ошибок (от  $BER = 10^{-11}$  до  $BER = 10^{-15}$ ). Рассмотрим

теперь работу фотоприёмника. Будучи синхронизированным, с приходом оптического сигнала, фотоприёмник периодически в оптимальные моменты времени проводит обработку принимаемого сигнала - регистрирует интенсивность оптического сигнала и по определённому пороговому значению решает, какой сигнал принят - 0 или 1 (Рис 1.1).

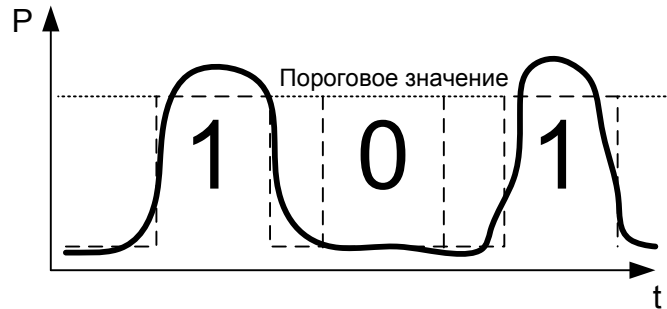


Рис 2.1 – Определение принятого сигнала

К снижению качества цифровой передачи приводит много факторов: дисперсия (Рис 1.2.а), высокое затухание сигнала (Рис 1.2.б), нестабильность таймеров (Рис 1.2.в), повышенные уровни шумов (Рис 1.2.г) и др.

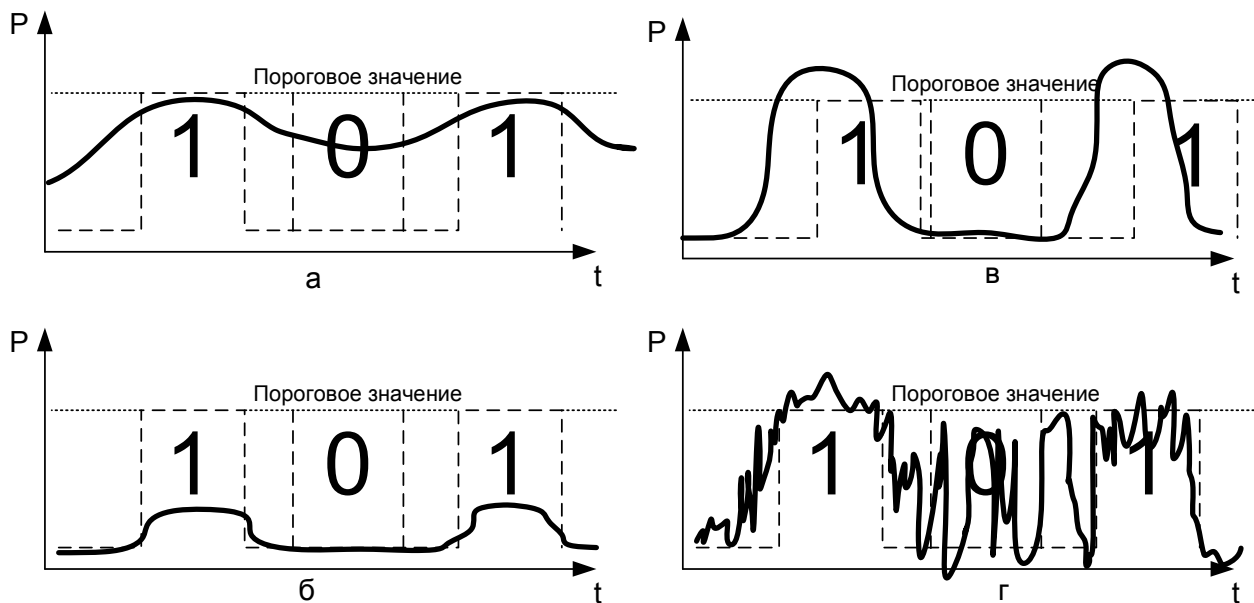


Рис 2.2 – Факторы воздействия на качество передачи цифрового сигнала (а – дисперсия, б – затухание сигнала, в – нестабильность таймеров, г - шумы)

### 3 Расчётная часть

#### 3.1 Энергетический бюджет

Энергетический бюджет является одним из основных параметром, представляющим интерес для разработчика, поскольку он определяет максимальную длину передачи сигнала в линии. Наиболее надежный способ сравнения различных оптических приём - передатчиков заключается в определении энергетического бюджета в децибелах в виде разности мощностей выраженных в безразмерных единицах дБм, передаваемого сигнала ( $P_{пер}$ ) и порогового значению чувствительности фотоприёмника ( $P_{пр}$ ). [6]

Определим оптический бюджет воспользовавшись соотношением:

$$\mathcal{E} = P_{пер} - P_{пр}, \text{ дБ} \quad (3.1)$$

где  $P_{пер}$  – номинальная мощность излучения на оптическом стыке по передаче

$P_{пр}$  – минимальная мощность чувствительности оптического приёмника

### 3.2 Коэффициент ошибок

Работа цифровых систем связи считается нормальной только в том случае, если коэффициент битовых ошибок BER не превышает определённый допустимый уровень, зависящий от используемого сетевого стандарта. Современные линии связи строятся так, чтобы удовлетворить любому сетевому стандарту. Поэтому при их расчёте и строительстве закладываются достаточно жёсткие ограничения уровня ошибок (от  $BER = 10^{-11}$  до  $BER = 10^{-15}$ ). Рассмотрим теперь работу фотоприёмника. Будучи синхронизированным, с входящим оптическим сигналом, фотоприёмник периодически в оптимальные моменты времени проводит обработку принимаемого сигнала - регистрирует интенсивность оптического сигнала и по определённому пороговому значению решает, какой сигнал принят - 0 или 1.

К снижению качества цифровой передачи приводит много факторов: дисперсия, нелинейные эффекты в волокне, нестабильность таймеров, усиленное спонтанное излучение и др.

Для расчета BER требуется знание только одного параметра - Q-фактора, который аналитически выражается через функцию ошибок. [4]

$$BER(Q) = 0,65 \cdot \exp\left(-\frac{(Q + 0,75)^2}{2,257}\right) \quad (3.2)$$

Если задано требуемое значение  $BER$  то, пользуясь выражением (3.2) можно найти требуемое значение  $Q$ -фактора.

$$Q = \sqrt{-\left(\ln\left(\frac{BER}{0,65}\right) \cdot 2,257\right)} - 0,75, \quad (3.3)$$

На практике фотоприёмные устройства высокоскоростных оптических систем передач (ОСП) проектируются таким образом, чтобы логарифм отношения полосы пропускания электрического фильтра к полосе пропускания оптического фильтра составлял не менее 2 дБ. В этом случае выполняется следующее условие по отношению сигнал/шум:

$$OSNR = 20\log(Q) + 2, \text{ дБ} \quad (3.4)$$

где OSNR – оптическое отношение сигнал/шум (Optical Signal to Noise Ratio)

[4]

Уровень чувствительности приемника ОСП - это минимальное значение уровня мощности оптического излучения в точке нормирования оптического тракта на приёме, при которых обеспечивается требуемое качество передачи цифрового оптического сигнала. Следовательно максимальный уровень мощности шума фотоприёмника можно ( $P_{шфп}$ ) оценить по следующей формуле:

$$P_{шфп} = P_R - OSNR, \text{ дБ} \quad (3.5)$$

где  $P_R$  – уровень чувствительности фотоприёмника

[15]

В виду ухудшения защищенности сигнала в реальном фотоприемнике, а также с учетом деградации характеристик передающего и приемного оптоэлектронных модулей на практике вводят эксплуатационный запас ( $A_{зан}$ ) равный от 5 до 10 дБ.

Помехозащищённость тракта определяют по следующей формуле:

$$A_3 = OSNR + A_{зан} \text{ (дБ)} \quad (3.6)$$

Помехозащищённость позволяет оценить величину необходимого уровня сигнала на фотоприёмники.

### 3.3 Затухание на макроизгибах ОВ

В нашей работе также проводится исследования влияния макроизгибов на коэффициент ошибок.

Для оценки величины уровня входящего сигнала нужно знать не только заявленное погонное затухание ОВ, его стыков и сварок, но и затухание вносимое деформациями ОВ. Одной из распространённых деформаций является изгиб ОВ при монтаже и проводки его по помещениям и стойкам, такие изгибы называют макроизгибами ОВ.

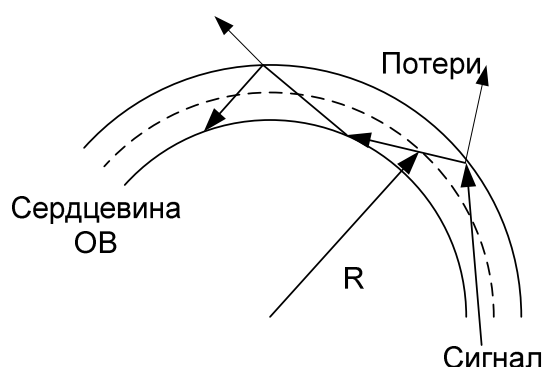


Рисунок 3.1 – Макроизгиб ОВ

Для расчёта величину затухания на макроизгибе используется формула:

$$\alpha_{\text{макро}}(R) = -10 \log \left( \left| 1 - \frac{2r \cdot n_1^2}{R \cdot NA^2} \right| \right) \text{ (дБ)} \quad (3.7)$$

где,  $n_1$  - коэффициент преломления материала сердцевины ОВ

$R$  – радиус изгиба ОВ

$NA$  – числовая апертура ОВ [3]

Значение числовой апертуры ( $NA$ ) оптоволокна можно взять из рекомендаций G.651-G.655 по которым было изготовлено ОВ. Коэффициент преломления материала сердцевины ОВ обычно составляет  $n_1 = 1.44 \dots 1.45$ .

### 3.4 Оценка времени эксперимента



При измерении коэффициента ошибок на практике аппаратура использует следующую формулу:

$$BER_{\text{ан}}(t) = \frac{H_{\text{ош}}(t)}{H(t)}, \quad (3.8)$$

где,  $H(t)$  – количество полученных бит информации,

$H_{\text{ош}}(t)$  – количество бит пораженных ошибкой.

Также необходимо учитывать, что минимальный коэффициент ошибок, который мы можем зафиксировать, зависит от времени наблюдения за работающим трактом. Определить это значение можно по выражению:

$$BER_{\text{мин}}(t) = \frac{1}{B \cdot t} \text{ (дБ)} \quad (3.9)$$

где,  $B$  – скорость передачи информации (бит/с)

$t$  – время наблюдения за работающим трактом (с)

Также необходимо учитывать, что наиболее точные результаты можно получить при накоплении статистических данных, т.е. реально время наблюдения должно быть больше  $t$ .

## 4. Аппаратура и программное обеспечение

### 4.1 Назначение аппаратуры ЦВОЛТ серии «Транспорт 8x30»

Аппаратура цифрового волоконно-оптического линейного тракта (ЦВОЛТ) «Транспорт-8x30» относится к классу волоконно-оптических систем передачи, (ВОСП) и предназначена для передачи 8 первичных цифровых потоков 2,048 Мбит/с (E1) между двумя или несколькими (до 16-и) пунктами связи по одному или двум, одномодовым или многомодовым оптическим волокнам.

При работе по обычному одномодовому волокну, максимальная длина участка регенерации составляет 200км. Минимальная длина участка регенерации равна нулю.

Аппаратура предназначена для включения по схеме организации связи «точка-точка», или «кольцо».

Для организации связи можно использовать одно или два, одномодовых или многомодовых оптических волокна.

#### 4.2 Структура комплекта аппаратуры «Транспорт-8х30»

Для двух комплектов аппаратуры «Транспорт-8х30» можно организовать только топологию сети «точка-точка» в вариантах передачи оптического сигнала по одному или по двум оптическим волокнам. Самая простая и надёжная схема включения по топологии «точка-точка» по двум волокнам (Рисунок 4.1).

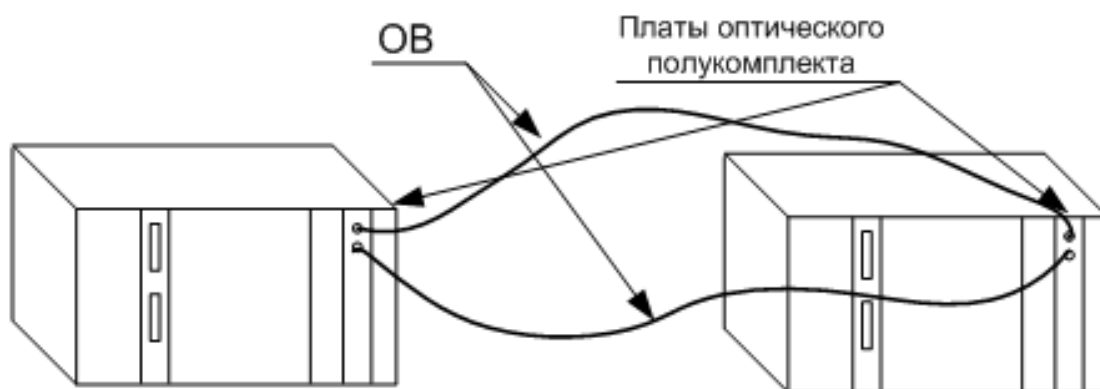


Рисунок 4.1 - Схема включения аппаратуры по топологии «точка-точка» по 2-м волокнам

Работа двух комплектов, при включении по схеме (рисунок 4.1), симметрична и достаточно описать, только работу одного комплекта.

Работа каждой из плат комплекта описана в пункте 2, а в данном пункте рассмотрим взаимодействие плат внутри крейта (рисунок 4.2).

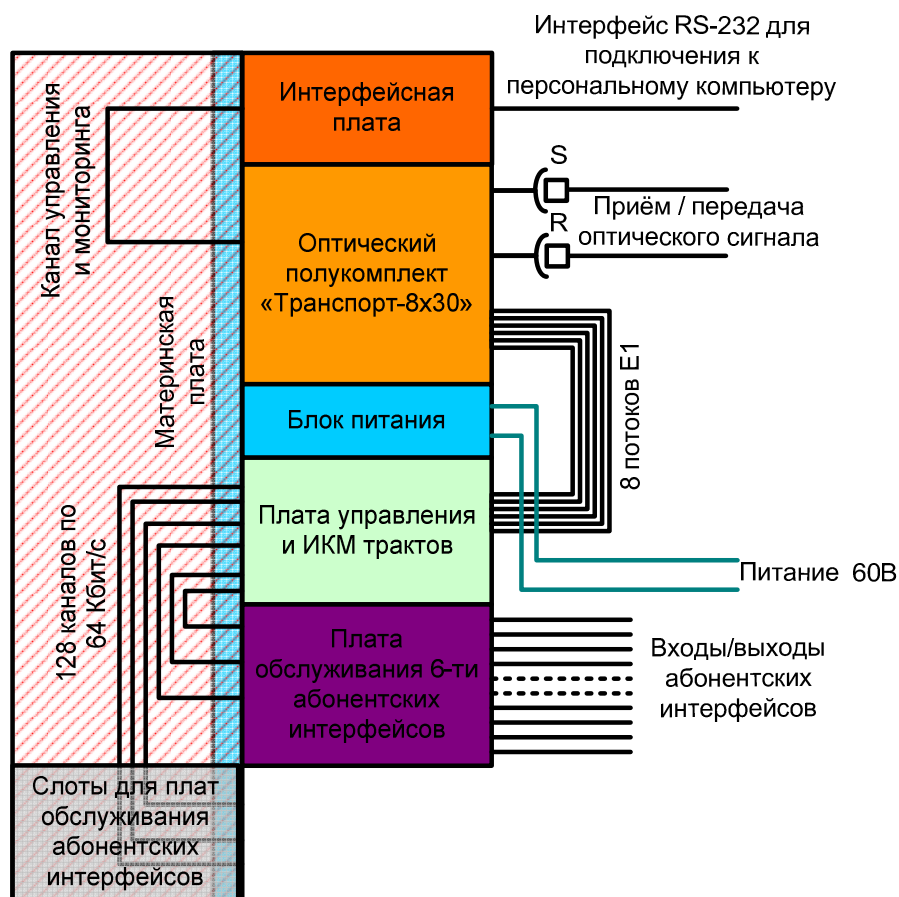


Рисунок 4.2 - Схема включения плат в комплекте

Принимая оптический сигнал, полукомплект демультиплексирует его и выделяет потоки E1 которые подключаются к плате управления и ИКМ трактов. Плата управления и ИКМ трактов может маршрутизировать как целиком потоки E1, так и выделять отдельные основные цифровые каналы (ОЦК) и коммутировать их на платы обслуживания абонентских интерфейсов или в другие потоки E1.

В рамках поставленной задачи далее будет рассматриваться только работа оптического полукомплекта «Транспорт-8x30».

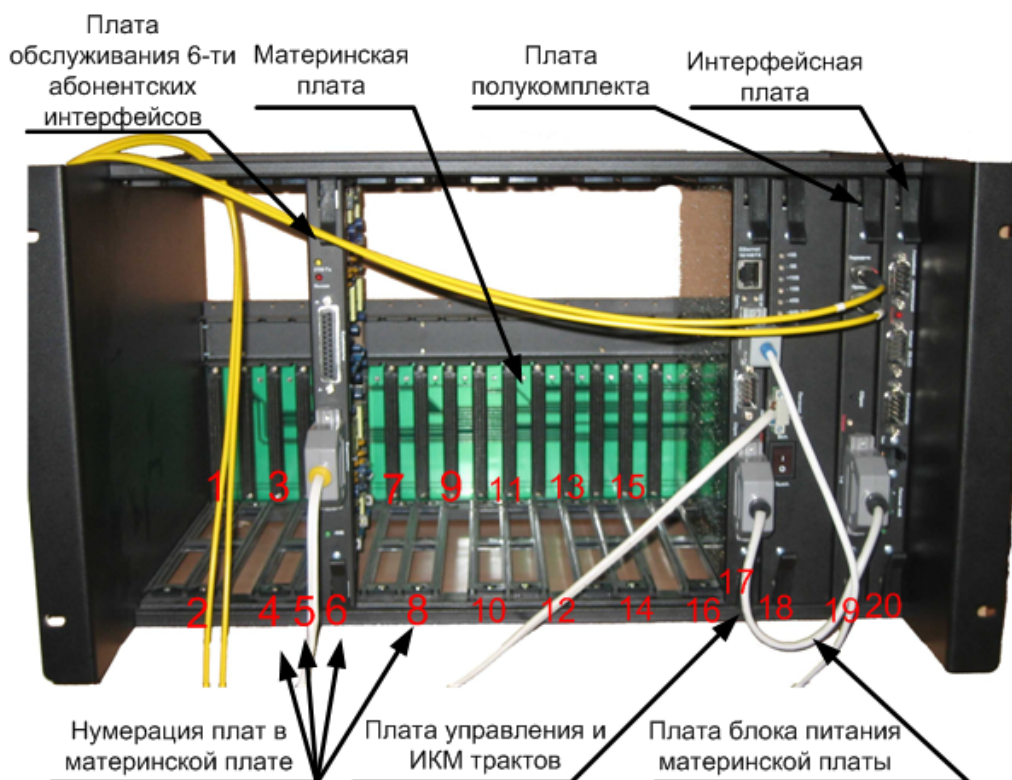


Рисунок 4.3 – Внешний вид комплекта аппаратуры «Транспорт-8x30»

### 4.3 Анализ программного обеспечения «Центр управления ЦВОЛТ»

Программа «Центр управления ЦВОЛТ», версия 3.3 предназначена для организации трактов Е1 на базе аппаратуры ЦВОЛТ ОАО «Русская телефонная компания», включенной в оптические кольца.

Организация трактов состоит из трёх этапов:

- а) создание оптического кольца и назначение трактов Е1;
- б) запись созданной конфигурации в аппаратуру ЦВОЛТ через СОМ-порт.
- в) Тестирование работы аппаратуры и наблюдение за качеством передаваемого цифрового потока (битовым коэффициентом ошибок).

## 5. Схемы и методики проведения экспериментов

### 5.1. Исследование влияния затухания на коэффициент ошибок.

Для источника затухания в эксперименте мы используем аттенюатор оптический измерительный (АОИ).

**Аттенюатор оптический** (одномодовый или многомодовый) предназначен для ослабления уровня мощности оптического сигнала в системах коммутации оконечного оборудования систем передачи информации волоконно-оптических линий связи. Основные качественные показатели аттенюаторов — высокая стабильность установленного ослабления, низкий уровень обратного отражения, широкий диапазон рабочих температур.

**Аттенюатор оптический измерительный (АОИ)** представляет собой прибор для введения нормированного затухания оптического сигнала в оборудовании и аппаратуре волоконно-оптических линий связи при их настройке, испытаниях и техническом обслуживании.



Рисунок 5.4 - Внешний вид АОИ Acterna OLA – 15B / PC

На АОИ Acterna OLA – 15B / PC на лицевой части имеются кнопки переключения длины волны (1-я кнопка 1550 нм, 2-я кнопка 1300 нм) и кнопка включения и выключения дисплея. Также имеется вращательный регулятор позволяющий изменять уровень вносимого затухания от 3 дБ до 60 дБ.

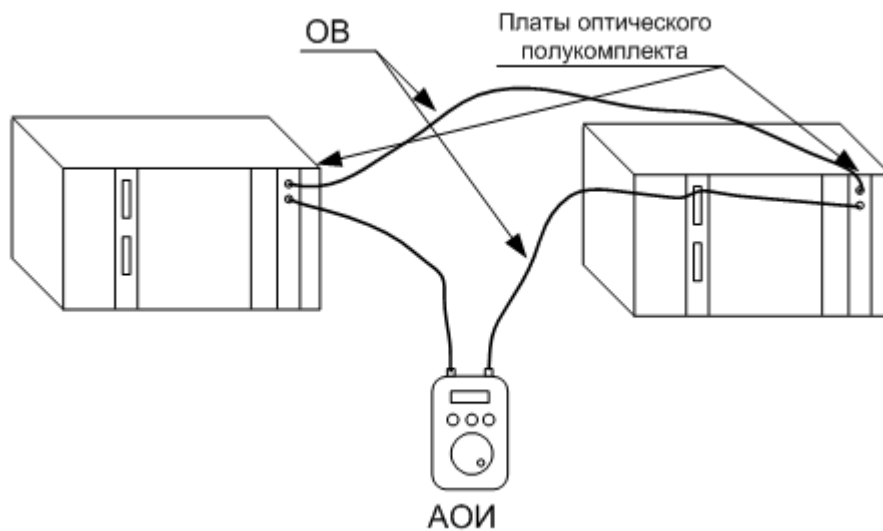


Рисунок 5.1 - Схема эксперимента по исследованию влияния затухания на коэффициент ошибок

На рисунке 5.1 представлена схема включения аппаратуры для исследования влияния шумов на коэффициент ошибок в линии.

В такой схеме номинальная мощность основного группового сигнала на входе фотоприёмного устройства составляет примерно от -9 до -66 дБм.

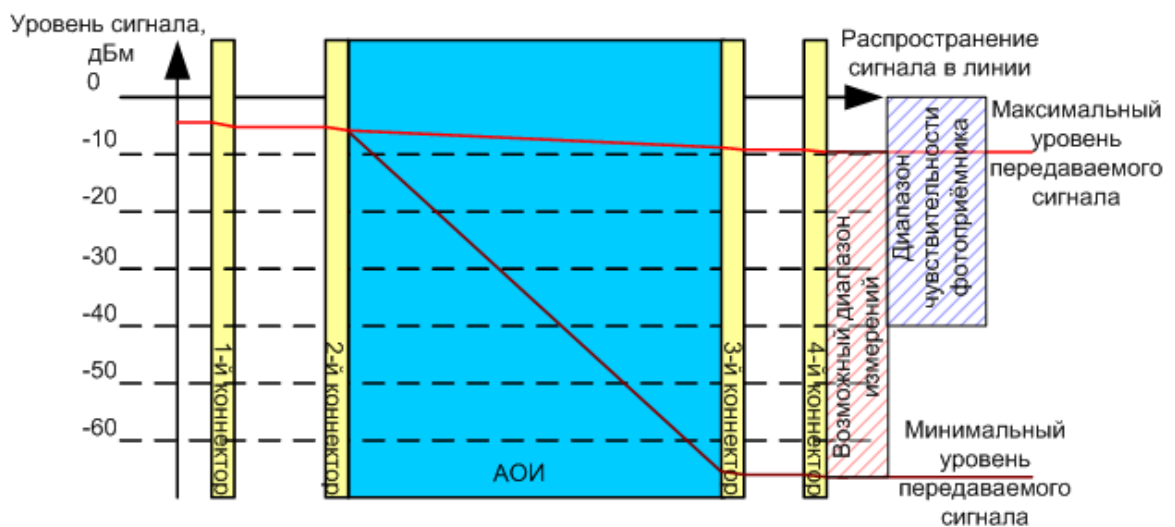


Рисунок 5.2 – График уровней сигнала в процессе его распространения по линии для схемы эксперимента исследования шумов

Методика измерения по схеме, представленной на рисунке 5.1, заключается в следующем: аттенюатор оптический измерительный подключается двумя патчкордами к передающему модулю одного комплекта аппаратуры и к приёмному модулю другого комплекта. Далее с помощью

аттенюатора создаём затухание в линии, при котором происходит логический обрыв линии и аппаратура переходит в аварийный режим работы. Затем постепенно ослабляя уровень затухания на АОИ, начинаем снимать значение BER с помощью программного обеспечения «Центр управления ЦВОЛТ».

С учётом поправок по затуханию представленном в данном пункте необходимо построить логарифмические графики зависимостей BER от затухания в линии.

## 5.2. Исследование влияния макроизгибов на коэффициент ошибок.

На рисунке 5.3 представлена схема для исследования влияния изгиба ОВ на коэффициент ошибок в линии.

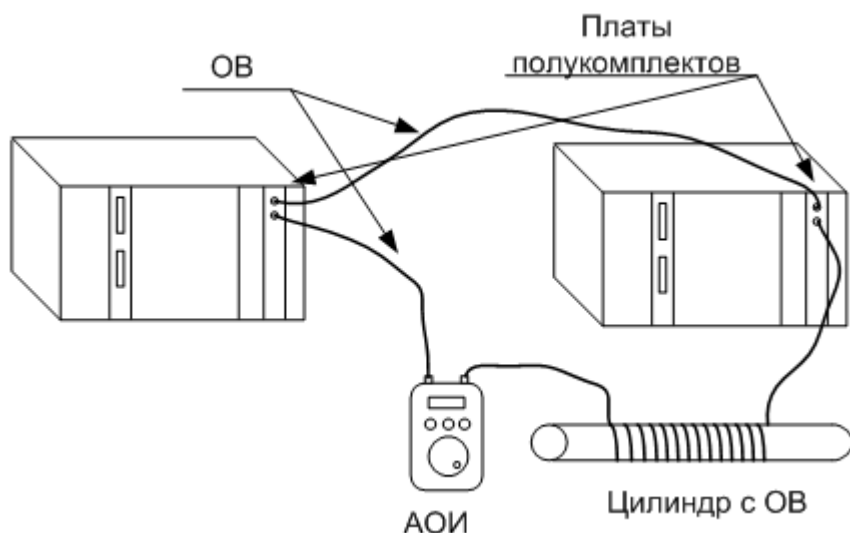


Рисунок 5.3 - Схема эксперимента по исследованию влияния изгиба ОВ

Для исследования используем ОВ (патчкорд) с витками вокруг цилиндров различного диаметра (2 см, 3 см, 7 см). Данный патчкорд необходимо использовать только на данном участке этого эксперимента, т.к. многократные деформации ОВ могут вызывать необратимые разрушительные влияния на и ухудшать пропускные способности.

Эксперимент заключается в исследовании влияния деформации ОВ на грани истощения энергетического бюджета линии, которое вызывается АОИ устройством.

Методика эксперимента заключается в следующем: по теоретическому графику (построенному в ходе расчётного задания по формуле (3.7)), оценивается затухание на 1 виток ОВ вокруг цилиндра определённого радиуса. И используя результаты экспериментов по исследованию затухания, рассчитываем примерное количество витков ОВ необходимое для прохождения значений BER которое мы можем измерить. Устанавливаем на АОИ затухание, при котором включается аварийный режим работы аппаратуры, и начинаем постепенно снимать витки ОВ с цилиндра, при этом снимаем показания значения BER с помощью ПО.

### 5.3. Исследование влияния шумового излучения на коэффициент ошибок.

Для источника шумов на приём наблюдаемого полукомплекта необходимо подавать модулируемые нами шумы. Для этого используем сигналы, с наблюдаемой платы, ослабленные аттенуатором и смешанные с входящим сигналом.

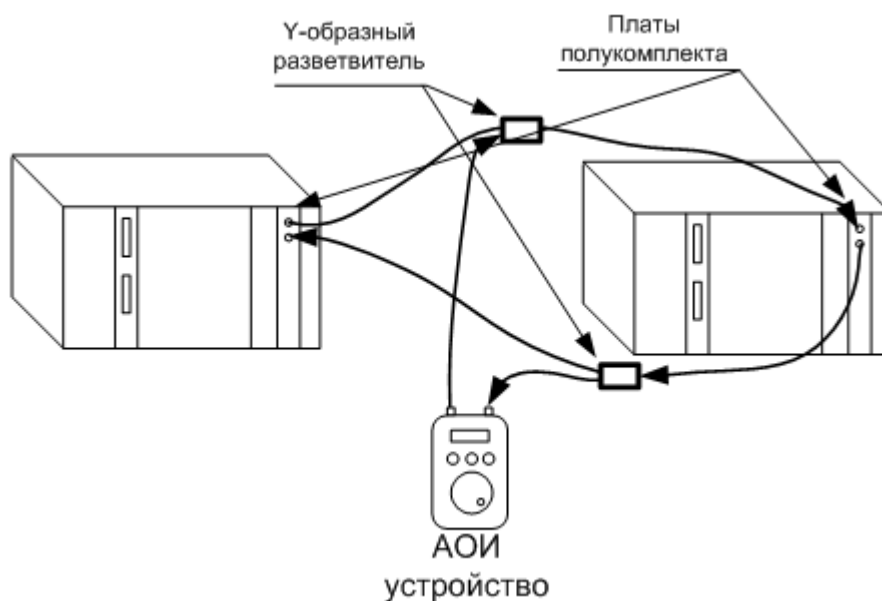


Рисунок 5.4 - Схема эксперимента по исследованию влияния шумов на коэффициент ошибок

На рисунке 5.4 представлена схема включения аппаратуры для исследования влияния шумов на коэффициент ошибок в линии.



Для этого мы используем симметричный Y-образный разветвитель и АОИ устройство.

### Y-образный разветвитель:

При выделении шумового сигнала используется Y-образный разветвитель. Затухание сигнала в разветвителях представлено в (таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Коэффициенты деления и вносимые потери разветвителей  $1 \times N$  и ответвителей  $1 \times 2$ ,  $1 \times 3$

| $N$ | $R$ , % | $IL_{\max} - IL_{\min}$ , дБ | $R$ , % | $IL_1$ , дБ | $IL_2$ , дБ | $R$ , %  | $IL$ , дБ     |
|-----|---------|------------------------------|---------|-------------|-------------|----------|---------------|
| 2   | 50      | 3,1 ÷ 3,4                    | 50/50   | 3,4         | 3,4         | 10/45/45 | 10,5/4,0/4,0  |
| 3   | 33      | 4,8 ÷ 5,2                    | 60/40   | 2,5         | 4,3         | 20/40/40 | 7,3/4,5/4,5   |
| 4   | 25      | 5,5 ÷ 6,7                    | 67/33   | 2,0         | 5,2         | 30/35/35 | 5,4/4,8/4,8   |
| 5   | 20      | 6,9 ÷ 7,8                    | 70/30   | 1,8         | 5,6         | 40/30/30 | 4,1/5,4/5,4   |
| 6   | 16,7    | 8,0 ÷ 8,5                    | 80/20   | 1,1         | 7,4         | 50/25/25 | 3,1/6,2/6,2   |
| 7   | 14,3    | 9,1 ÷ 9,6                    | 90/10   | 0,6         | 10,6        | 60/20/20 | 2,3/7,2/7,2   |
| 8   | 12,5    | 9,8 ÷ 10,1                   | 95/5    | 0,4         | 14,1        | 70/15/15 | 1,7/8,5/8,5   |
| 10  | 10      | 10,8 ÷ 11,1                  | 99/1    | 0,2         | 23,1        | 80/10/10 | 1,0/10,5/10,5 |

Для экспериментальных исследований по схеме 5.4 с использованием разветвителей 50/50 доступны следующие диапазоны значений:

Основной групповой сигнал поступающий на плату составляет -5.2 дБм.

Шумовой сигнал может варьироваться от -12.4 дБм до -66.6 мВт.

Варьируя величину шумового сигнала поступающего на вход полукомплекта, можно наблюдать за изменением коэффициента ошибок передачи основного группового оптического сигнала.

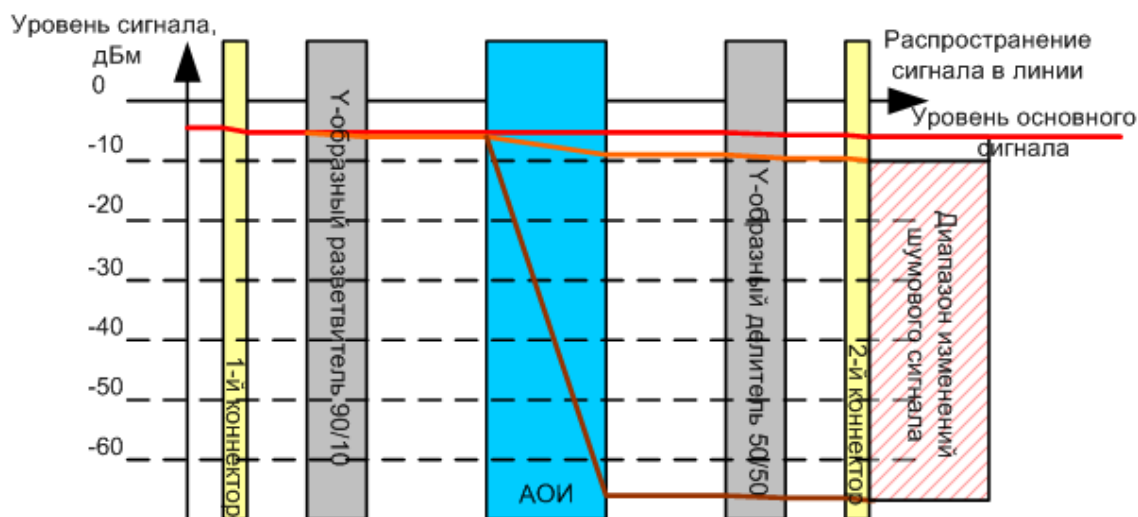


Рисунок 4.5 – График уровней сигнала в процессе его распространения по линии для схемы эксперимента исследования шумов

Методика эксперимента заключается в следующем: Устанавливаем на АОИ минимальное значение затухания при котором аппаратура переходит в аварийный режим работы и начинаем снимать показания значения BER с ПО, повышая затухание шумового сигнала.

Постройте логарифмический график зависимости коэффициента ошибок в линии, от величины вносимого АОИ затухания в шумовой сигнал

## 6. Порядок выполнения работы

1) Ознакомится с представленной теоретической и технической информацией.

2) Проведите расчёты:

Расчёты производятся по формулам, предложенным в пункте 3 (расчётная часть).

2.1) Рассчитайте по формуле (3.1) энергетический бюджет для значений уровня сигнала ( $P_{пер}$ ) и чувствительности фотоприёмника ( $P_{пр}$ ) заявленных в техническом описании для аппаратуры «Транспорт-8х30»

$$(P_{пер} = -4,5 \text{ дБ}; P_{пр} = -4,5 \text{ дБ}).$$

2.2) Рассчитаем по формуле (3.3) значение Q-фактора, для коэффициентов битовых ошибок равных  $10^{-12}$ ,  $10^{-11}$ ,  $10^{-10}$ ,  $10^{-9}$ ,  $10^{-8}$ ,  $10^{-7}$ .

Результаты расчёта приведите в форме таблицы 5.1

Таблица 5.1 – Рассчитанные значения Q-фактора от BER

|        |            |            |            |           |           |           |
|--------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| BER    | $10^{-12}$ | $10^{-11}$ | $10^{-10}$ | $10^{-9}$ | $10^{-8}$ | $10^{-7}$ |
| Q(BER) |            |            |            |           |           |           |

Постройте теоретический логарифмический график зависимости коэффициента ошибок от Q-фактора:

2.3) Рассчитаем по формуле (3.4) значение отношения оптического сигнал/шума OSNR, для рассчитанных нами значений Q-фактора.

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| $OSNR = 20\log(Q) + 2$ , дБ | (3.4) |
|-----------------------------|-------|

Результаты расчёта приведите форму таблицы 5.2.

Таблица 5.2– Рассчитанные значения OSNR от BER

|               |            |            |            |           |           |           |
|---------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| BER           | $10^{-12}$ | $10^{-11}$ | $10^{-10}$ | $10^{-9}$ | $10^{-8}$ | $10^{-7}$ |
| OSNR(BER), дБ |            |            |            |           |           |           |

Постройте теоретический логарифмический график зависимости коэффициента ошибок от OSNR:

2.4) Оцените максимальный уровень шума для заданного производителем уровня чувствительности фотоприёмника ( $P_R = -40$  дБм) при коэффициенте битовых ошибок  $BER = 10^{-12}$  по формуле (3.5).

2.5) Рассчитайте допустимый минимальный уровень сигнала ( $P_{мин}$ ) входящий в фотоприёмник для OSNR, рассчитанных и записанных в форму таблицы 5.2 по формуле (3.5).

Результаты расчёта приведите в форме таблицы 5.3

Таблица 5.3– Рассчитанные значения  $P_{мин}$  от BER

| BER             | $10^{-12}$ | $10^{-11}$ | $10^{-10}$ | $10^{-9}$ | $10^{-8}$ | $10^{-7}$ |
|-----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| OSNR(BER), дБ   |            |            |            |           |           |           |
| $P_{мин}$ , дБм |            |            |            |           |           |           |

Постройте теоретический логарифмический график зависимости коэффициента ошибок от величины входящего на фотоприёмник сигнала.

2.6) Рассчитайте величину затухания на макроизгибе, используя формулу (3.7), для значений  $n_1 = 1,445$ ,  $R = 0,01 \dots 0,05$  м,  $NA = 0,12$

Постройте теоретический график зависимости затухание в макроизгибе от его радиуса.

2.7) Оцените время проведения эксперимента, которое обеспечит измерение минимального коэффициента ошибок до значений  $10^{-10}$ , по формуле (3.9) (скорость передачи по тракту равна 17,4 Мбит/с):

3) Включить аппаратуру (только в присутствии преподавателя).

4) Запустить ПО «Центр управления ЦВОЛТ» (рисунок 6.1).

5) Изучить методику снятия коэффициента битовых ошибок за период с помощью ПО «Центр управления ЦВОЛТ».

5.1) Для снятия BER за период необходимо отчистить журнал с помощью пункта главного меню «Статистика» и подпункта «Очистка журнала» ПО.

5.2) Сразу после отчистки журнала необходимо засечь время проведение эксперимента. По окончании времени вывести отчёт о коэффициенте ошибок с помощью пункта главного меню «Статистика» и подпункта «Статистика за период» ПО.

5.3) Для получения достоверного отчёта при других условиях эксперимента необходимо проделать пункт 5.1 и 5.2 после изменения условий проведения эксперимента.

6) В присутствии преподавателя соберите схему экспериментальной установки для снятия зависимости BER от значения затухания сигнала в линии (рисунок 4.1)

7) Проведите измерение значения BER при 4-6 значениях затухания сигнала в линии по методике, представленной в пункте 4.1.

8) В присутствии преподавателя соберите схему экспериментальной установки для снятия зависимости BER от количества витков макроизгиба ОВ (рисунок 4.3)

9) Проведите измерение значения BER при 2-3 значениях количества витков для радиусов изгиба 1 см, 1.5 см, 3.5 см по методике, представленной в пункте 4.2.

10) В присутствии преподавателя соберите схему экспериментальной установки для снятия зависимости BER от уровня шумового излучения в тракте (рисунок 4.4)

11) Проведите измерения значения BER при 4-6 значениях уровня шумового излучения по методике, представленной в пункте 4.3.

12) Постройте логарифмические графики всех измерений с учётом представленных значений затуханий сигналов к каждой схеме.

13) Сравнить полученные экспериментальные и расчётные графики. Сделать выводы.

## **7. Содержание отчёта**

Состав отчёта по лабораторной работе «Исследование битового коэффициента ошибок в ЦВОЛТ»:

- 1) Краткая теория
- 2) Расчётная часть
- 3) Схема проведения эксперимента, таблица полученных значений, логарифмический график к каждой схеме
- 4) Сравнение расчётных графиков и экспериментальных
- 5) Выводы

## Список литературы

1. Скляров О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. Учебное пособие.- С-Пб : Лань, 2010. – 272 с.
2. Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие .- М.: Эко-Трендз, 2008. -288 с.
3. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи (4-е, дополненное издание)- М. : Эко-Тренд. 2007. -512 с..
4. Оптические цифровые телекоммуникационные системы: учебно-методическое пособие по практическим занятиям// Коханенко А.П., Шарангович С.Н. / Под ред. С.Н. Шаранговича – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2007. -78 с.
5. Басалаев С.С. Техническое описание, инструкция по эксплуатации и монтажу.Аппаратура ЦВОЛТ «Транспорт-8х30».Новосибирск: 2004.-35 с.
6. Коханенко А.П., Шарангович С.Н. Проектирование оптических цифровых телекоммуникационных систем. Учебно-методическое пособие. Томск, ТУСУР, 2007 г.-120 с.
7. Ефанов В.И. Проектирование волоконно-оптических линий связи. Учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта по дисциплине «Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОЛС» - Томск.: ТУСУР, 2007. – 100 с.
8. А.В. Бурдин, В.А. Бурдин, А.В. Воронков, Н.А. Шишова Исследование параметров волоконно-оптической линии передачи. - Самара: 2004. – 65 с.