

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

Халилов Мухаммадмусо Мухаммадюнович

Анализ методов мониторинга показателей качества функционирования волоконно-
оптической транспортной сети

Специальность: 5А522203

«Оптические системы связи и обработка информации»

ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание степени магистра телекоммуникаций

Работа рассмотрена
и допускается к защите.
Зав. кафедрой ТСП
к.т.н., доцент Исаев Р.И.
« ____ » _____ 2010 г.

Научный руководитель
Доцент Хашимов Х.М. _____

Ташкент-2010 г

ОГЛАВНЕНИЕ

Введение.....	3
1. КОНТРОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ ТЕЛОКОММУНИКАЦИИ	8
1.1. Построение волоконно-оптических систем передачи и телекоммуникационных сетей.....	8
1.2. Модели оптических транспортных сетей.....	15
1.3. Методы контроля технического состояние волоконно-оптических транспортных сетей и систем телекоммуникаций, постановка задачи исследования.....	23
2. МОНИТОРИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ СИСТЕМНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОСП И ВОТС.....	34
2.1. Методологические аспекты построения системы мониторинга волоконно-оптических сетей телекоммуникаций.....	34
2.2. Особенности непрерывного контроля волоконно-оптического линейного тракта на основе системы мониторинга.....	39
2.2.1. Анализ факторов - влияющих на изменение мощности оптического сигнала в ВОЛТ.....	39
2.2.2. Построение системы мониторинга волоконно-оптического линейного тракта.....	43
2.2.3. Аспекты построения ИИС для мониторинга ВОТС.....	50
2.3. Мониторинг системных показателей ошибок в волоконно-оптических системах и сетях.....	56
2.3.1. Анализ показателей ошибок и источников их возникновения.	56
2.3.2. Методы оценки показателей ошибок на основе BER.....	63
2.3.3. Процедура расчета показателей ошибок на основе ES и SES.....	68

3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОСП И НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ВОЛС.....	75
3.1. Методы контроля среды передачи волоконно-оптической сети.....	75
3.2. Тестирование BER, пассивных и активных оптических элементов.....	82
3.3. Мониторинг несанкционированного доступа к ВОЛС.....	91
3.3.1. Аспекты защищенности ВОЛС от несанкционированного доступа и задачи рефлектометрического мониторинга.....	92
3.3.2. Энергетические оценки мониторинга НСД.....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	104
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	107

ВВЕДЕНИЕ

Техническая политика Узбекского агентства связи и информатизации направлена на внедрение волоконно-оптических систем на всех уровнях транспортной сети (магистральной, внутрizonовой, местной) с последующим переходом к полностью оптической сети Республики Узбекистан.

Интенсивное развитие телекоммуникационной сети выдвигает на первый план задачу централизованного контроля ВОСП на предмет соответствия характеристик и параметров функционирования систем нормативным требованиям. Для контроля большого количества различных параметров волоконно-оптической транспортной сети (ВОТС) и ее элементов необходимо использовать различные средства контроля (автономные, специализированные) отличающиеся функциональными возможностями, принципами построения, степенью автоматизации, возможностями, подключения к контролируемому объекту и т.д. Контроль соответствия включает также процедуры измерения, тестирования, диагностирования, анализа. Данных процедур необходимо рассматривать с позиции сквозного контроля “от точки до точки” в ВОТС. Распределенная система измерения, тестирования, диагностирования и анализа характеристик и параметров ВОТС с централизованным получением результатов называется мониторингом.

В соответствии с особенностями контролируемых объектов телекоммуникации, требование к качественным показателям функционирования и взаимодействия контролируемой системы с объектом, выбираются контролируемые характеристики, параметры сети, средства измерения и методы мониторинга. Система мониторинга осуществляет контроль функционирования ВОТС и позволяет обнаружить неисправности элементов сети для последующего их устранения.

Актуальность темы исследования ввиду постоянного совершенствования технологий телекоммуникации научно – методические

аспекты разработки, внедрение и эксплуатации систем мониторинга, применительно к волоконно-оптическим транспортным сетям и ВОСП, недостаточно исследованные. Вышеизложенное показывает актуальность анализа методов мониторинга показателей качества функционирования ВОТС.

Таким образом, изучение и анализ построения современных волоконно-оптических систем передачи и телекоммуникационных сетей, требований к качеству их функционирования выдвигают на первый план создание систем контроля их технического состояния на основе системы мониторинга основных системных и эксплуатационных показателей качества функционирования ВОТС.

Целью исследования является анализ методов мониторинга показателей качества функционирования ВОТС.

Для достижение этой цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Рассмотреть принципы построения волоконно-оптических систем и сетей передачи, а также модели оптической транспортной сети с позиции контроля показателей качества функционирования систем и сети в целом.

2. Провести анализ методов контроля технического состояния волоконно-оптических систем и сетей телекоммуникации.

3. Разработать научно - методологических аспектов построения мониторинга ВОТС и предложить подходы к построению модели системы мониторинга телекоммуникационной сети с позиции ее сквозного контроля на основе тестирования.

4. Исследовать особенности непрерывного контроля волоконно-оптического линейного тракта на основе мониторинга использующего методы контроля среды передачи, активных и пассивных элементов ВОСП.

5. Рассмотреть системные показатели качества функционирования ВОТС базирующиеся на анализе битовых ошибок и источников их

возникновения, методах оценки и процедурах расчета показателей ошибок на основе ES и SES.

6. Исследовать задачи выявления и нейтрализации несанкционированного доступа (НСД) к волоконно-оптическому кабелю основанная на применение систем мониторинга ВОЛС с использованием средств оптической рефлектометрии.

Объектом исследования являются ВОТС и ВОСП показатели качества их функционирования.

Предметом исследования является методы мониторинга показателей качества функционирования ВОТС и ВОСП базирующихся на системных измерениях частности ошибок, средств и режимов контроля, методов контроля среды передачи, тестирования вероятности ошибок, а также исследование научно-методических аспектов мониторинга несанкционированного доступа к ВОЛС.

Научная новизной исследования заключается в рассмотрении методологических аспектов мониторинга показателей функционирования ВОТС и несанкционированного доступа к ВОЛС.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в диссертации применялись методы теории телекоммуникационных систем и сетей, метрологии, теории вероятности и математической статистики.

Теоретическая значимость исследовании заключается в использование системного подхода при изучении вопросов построения системы мониторинга в ВОТС.

Практическая значимость работы заключается в том, что предлагаемые научно-методологические аспекты построения системы мониторинга ВОТС позволят реализовать эффективный централизованный контроль параметров функционирования сети и несанкционированный доступ к ВОЛС.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, приложений и изложены на 108 страницах, содержит 27 рисунков, 4 таблиц.

Содержание работы

В введении представлена актуальность, объект, предмет, цель, задачи проводимых исследований, теоретическая и практическая значимость, а также структура диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ построения современных волоконно-оптических систем и сетей передачи, модели оптических транспортных сетей, существующих методов контроля технического состояния ВОСП и ВОТС и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе разработаны методологические аспекты построения системы мониторинга применительно к ВОТС, на основе которой исследованы особенности непрерывного контроля волоконно-оптического линейного тракта. Основным показателем оценки качества функционирования ВОТС выбран системный параметр-показатель битовых ошибок. Проведен анализ типов показателей ошибок и представлена процедура мониторинга, расчёта показателей ошибок на основе ES, SES с учётом норм на них.

В третьей главе исследованы методы контроля элементов ВОСП и некоторые аспекты построения и функционирования мониторинга несанкционированного доступа к ВОЛС. Здесь рассмотрены методы контроля среды передачи и методы тестирования элементов ВОТС. Раскрыты аспекты защищённости ВОЛС от несанкционированного доступа и задачи их выявления посредством рефлектометрического мониторинга несанкционированного доступа.

В заключении представлены научные, методические, практические выводы и предложения по использованию результатов исследований.

1. КОНТРОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ ТЕЛОКОММУНИКАЦИИ

1.1. Построение волоконно-оптических систем передачи и телекоммуникационной сетей

Под системой передачи принято понимать комплекс технических средств, обеспечивающих образование линейных, трактов, типовых групповых трактов и каналов передачи первичной сети. При этом линейными трактами называют комплекс технических средств, обеспечивающих передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью, соответствующей данной системе передачи. В зависимости от среды распространения линейный тракт называют кабельным (волоконно-оптическим, электрическим), радиорелейным, спутниковым или комбинированным, а по типу системы передачи - аналоговым или цифровым.

В системах передачи под каналом передачи принято понимать комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в определенной полосе частот или с определенной скоростью передачи (например, ОЦК 64 кбит/с) между сетевыми станциями, сетевыми узлами или между сетевой станцией и сетевым узлом, а также между сетевой станцией или сетевым узлом и оконечным устройством первичной сети. Каналы подразделяются на аналоговые и цифровые. Для их согласования применяются аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП). В зависимости от скорости передачи сигналов электросвязи цифровой канал называют основным (ОЦК), первичным (ПЦК), вторичным (ВЦК), третичным (ТЦК), четверичным (ЧЦК) [1].

Узел сетевой — комплекс технических средств, обеспечивающий соединение сетевых станций первичной сети, образование и перераспределение сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых

физических цепей, а также предоставление их вторичным сетям. Узел может быть магистральным, внутризоновым или местным, а в зависимости от объема выполняемых функций — сетевым узлом переключения или выделения (ввода).

Станция сетевая — комплекс технических средств, обеспечивающий образование и предоставление вторичным сетям типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, а также их транзит.

Совокупность линейных трактов систем передачи и (или) типовых физических цепей, имеющих общие линейные сооружения, устройства их обслуживания и одну и ту же среду распространения в пределах действия устройств обслуживания называют линией передачи. В зависимости от первичной сети, к которой принадлежит линия передачи, её называют магистральной, внутризоновой или местной.

Цифровые волоконно-оптические системы передачи являются основой для построения транспортной сети Республики Узбекистан.

Под транспортной сетью принято понимать совокупность ресурсов систем передачи (каналов, трактов, секций или участков передачи), относящихся к ним средств контроля, оперативного переключения, резервирования и управления, предназначенных для переноса информации между заданными пунктами. Составной частью транспортной сети являются сети синхронизации и управления.

Сеть синхронизации образуется совокупностью тактовых генераторов, взаимодействующих в определённом порядке, систем распределения синхросигналов и самими синхросигналами.

Сеть управления — специальная сеть, обеспечивающая управление сетью электросвязи и её услугами путем организации взаимосвязи с компонентами сети электросвязи (сетевыми станциями и сетевыми узлами) на основе единых интерфейсов и протоколов, стандартизированных МСЭ-Т.

Волоконно-оптические системы передачи активно используются в транспортных сетях и в сетях доступа для передачи цифровых сигналов. На рис.1.1 представлена обобщенная схема оптической системы передачи, в которой блоками отображены возможные виды оборудования систем передачи.[1.2].

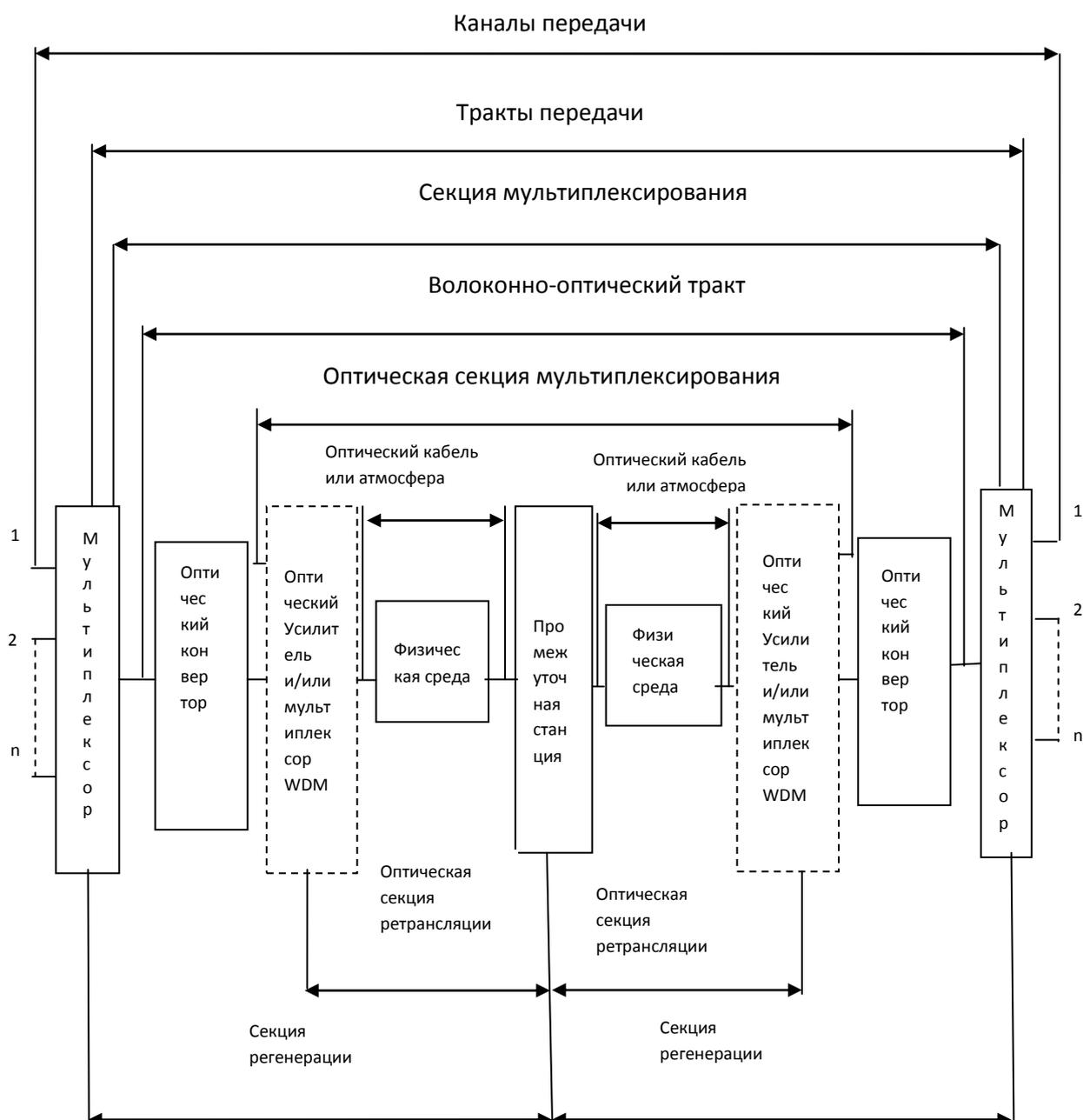


Рис. 1.1. Обобщенная схема оптической системы передачи.

Мультиплексор — устройство, обеспечивающее объединение нескольких независимых каналов на передаче и их разделение на приеме. Мультиплексор объединяет цифровые каналы.

Цифровые каналы имеют определенные стандарты скоростей передачи данных. Основной цифровой канал 64 кбит/с формируется на основе импульсно-кодовой модуляции ИКМ (дискретизация тонального сигнала во временном интервале 125 мкс и восьмиразрядное кодирование). Другие цифровые каналы определены следующим образом:

- первичный цифровой канал — 2 048 кбит/с;
- вторичный цифровой канал — 8 448 кбит/с;
- третичный цифровой канал — 34 368 кбит/с;
- четверичный цифровой канал — 139 264 кбит/с [1].

В цифровых каналах могут передаваться информационные сигналы с соответствующим спектром или скоростью передачи данных.

В оптических системах передачи основное применение получили цифровые мультиплексоры, т.к. образуемые ими групповые сигналы представлены в двоичном коде, который придает высокую помехоустойчивость передаваемой информации. Широкое распространение получили электронные цифровые мультиплексоры технологий PDH, SDH, ATM.

Мультиплексирование также может быть реализовано для оптических каналов. Аналоговые оптические мультиплексоры позволяют объединять/делить определенное количество каналов, образованных на различных оптических несущих частотах в окнах прозрачности одномодовых оптических волокон. Например, в третьем окне прозрачности (1530...1565 нм) определено местоположение 50 оптических каналов в полосе волн от 1528.77 нм до 1560.61 нм с интервалом не более 2 нм, согласно рекомендации МСЭ-Т G.692. Такой вид мультиплексирования получил название мультиплексирование с разделением по длине волны –WDM.

Цифровое оптическое мультиплексирование, называемое оптическим мультиплексированием с разделением по времени OTDM и кодовым делением OCDM, пока не получило широкого распространения из-за ряда технологических проблем реализации оптических мультиплексоров коротких импульсов. Однако OTDM может найти применение в оптических мультиплексорах в коротких системах передачи с использованием оптических солитонов, а OCDM – в пассивных оптических сетях доступа (PON).

Оптический конвертор в системе передачи выполняют главные функции по преобразованию электрических сигналов в оптические на передаче и оптических в электрический с их регенерацией на приеме (рис.1.2.)



Рис. 1.2. Схема оптического конвертора

Преобразователь линейного кода цифрового сигнала формирует сигнал с повышенной помехоустойчивостью передачи. Передающий оптический модуль (ПОМ) обеспечивает модуляцию оптического излучения и стык с оптической средой (волоконной линией). Приемный оптический модуль

(ПрОМ) преобразует оптическое излучение в электрический сигнал, производит коррекцию искажений, усиление и регенерацию цифрового сигнала. При этом выделяется тактовая частота, которая используется для синхронизации приемной части мультиплексора с целью правильного демультимплексирования каналов.

В состав системы передачи могут входить оптические усилители ОУс, которые позволяют увеличить мощность одноволнового или многоволнового сигнала на передающей стороне или повысить чувствительность приемника. Оптические усилители имеют хорошо согласованные характеристики с оптическими передатчиками, приемниками и волоконно-оптическими линиями.

Промежуточные станции системы передачи могут быть представлены различными устройствами: электронными регенераторами, оснащенными оптическими конверторами; электронными регенераторами, оснащенными оптическими конверторами; электронными мультиплексорами с доступом к определенному числу каналов; оптическими усилителями, служащими для ретрансляции оптических сигналов, оптическими мультиплексорами с формированием доступа к отдельным оптическим каналам. В состав мультиплексоров промежуточных станций могут входить электрические и оптические кроссовые коммутаторы.

Цифровые оптические системы передачи, снабжены средствами телеконтроля и управления, что позволяет контролировать работу всех компонентов системы передачи и быстро ликвидировать аварийные состояния. Электрические и оптические секции мультиплексирования и регенерации определяются как участки системы передачи с отдельным встроенным контролем и управлением.

Физические среды оптических систем передачи могут быть представлены стекловолокном, пластиковым волокном. Благодаря очень малым потерям оптической мощности и малым искажениям сигналов

основное применение в системах передачи получили стеклянные волоконные световоды.

Рассмотрим принципы построения оптической системы передачи и транспортных сетей. Общая структура аппаратуры на примере оборудования SDH транспортных сетей представлена на рис. 1.3.

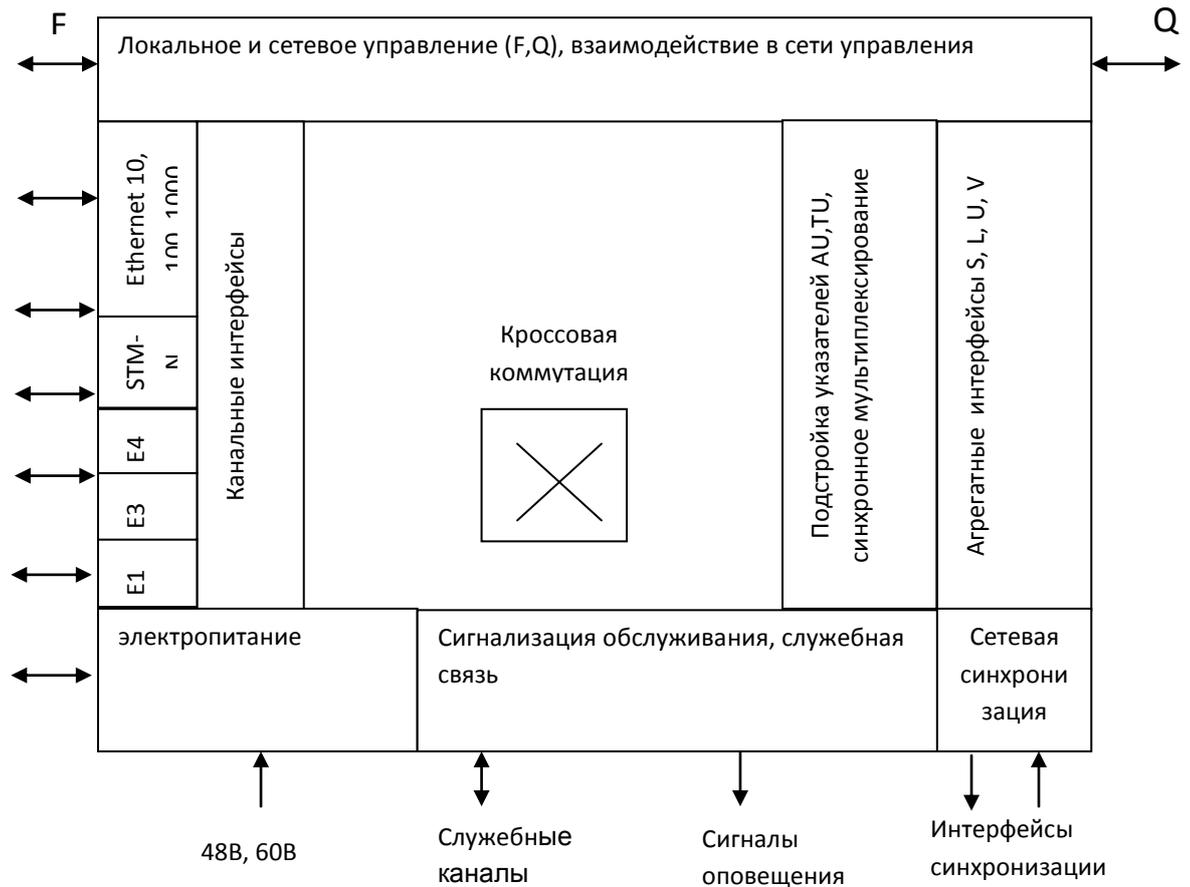


Рис.1.3 Общая структура аппаратуры транспортной сети

В этой структуре предусмотрены:

- агрегатные (линейные) интерфейсы, в которых определены характеристики оптических передатчиков и приемников;
- функции подстройки указателей TU и AU, мультиплексирование/демупльтиплексирование стандартных блоков в STM-N для аппаратуры SDH;

- кроссовые компоненты для переключений электрических и оптических трактов с целью реализации транзита в узлах, выделения и ввода цифровых потоков и волновых каналов, защитных переключений в соединениях и т.д.;

- каналные (пользовательские) интерфейсы, предоставляемые для загрузки/выгрузки цифровых данных различным пользователям транспортной сети (электронные АТС, коммутаторы Ethernet и т.д.);

- локальное и сетевое управление с поддержкой функций интерфейсов F (RS-232) и Q (G.773), каналов передачи данных управления и протокольных наполнений;

- тактовая сетевая синхронизация с возможностью программирования приоритетов выбора синхросигналов и портов их ввода;

- сигнализация обслуживания для световой и звуковой индикации аномальных состояний в оборудовании, на стойке в ряду и т.д.;

- электропитание аппаратуры, осуществляемое от источников питающих напряжений 48 В и 60 В.

Ряд устройств аппаратуры могут дублироваться с целью повышения надежности. Обязательное резервирование обеспечивается кроссовым коммутаторам (100% — резерв, обозначаемый 1+1 или 1:1), устройствам тактовой синхронизации. Частичное резервирование для пользовательских интерфейсов осуществляется, например, в режиме 1:2, 1:3, 1:4 и т.д., т.е. на несколько физических окончаний одно резервное. Резервирование предполагает автоматическое переключение за время не более 50 мс, что сохраняет в большинстве случаев установленные соединения в сети.

1.2. Модели оптических транспортных сетей

Учитывая динамичный рост потребностей в передаче информации, возрастание требований по качеству передачи, защищенности и управляемости соединений, МСЭ-Т разрабатывает и совершенствует стандарты на передачу

информации в оптических системах. Одним из основных направлений деятельности МСЭ-Т стало принятие концепции построения транспортных сетей, опубликованной в виде Рекомендации G.805, и разработки моделей транспортных сетей, базирующихся на волоконно-оптических системах передачи. При этом основная роль отводится волоконно-оптическим системам. Описание моделей транспортных сетей, технологических схем мультиплексирования, интерфейсов, оборудования, управления, синхронизации и т.д. приводится в большом пакете рекомендаций МСЭ-Т серий G, Y, I, X и т.д. Эти рекомендации используются производителями оборудования и сетевыми операторами при проектировании, запуске и эксплуатации транспортных сетей.

В настоящее время транспортные сети строятся в соответствии с моделями (Рис. 1.4) .

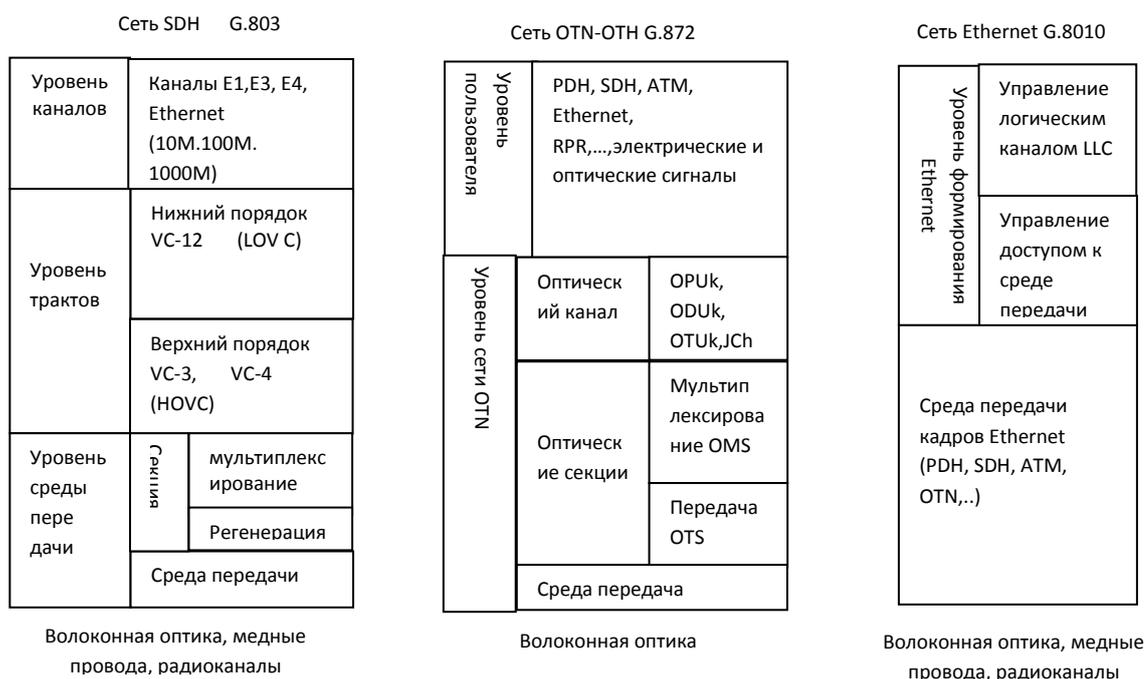


Рис.1.4. Модели транспортных сетей связи, определенные МСЭ-Т

Сигналы, передаваемые через физическую среду модели сети SDH, представляют собой циклы длительностью 125 мкс. называемые синхронными транспортными модулями STM-N (Synchronous Transport Module) порядка

$N=0, 1, 4, 16, 64, 256$. Порядок характеризует иерархический уровень и соответствующий скоростной режим передачи.

Уровень трактов сети SDH подразделён на два подуровня — высокий и низкий — стандартно обозначаемых в технической литературе: HOVC (Higher Order Virtual Container) — виртуальный контейнер верхнего уровня, и LOVC (Lower Order Virtual Container) — виртуальный контейнер нижнего уровня. Виртуальные контейнеры высокого и низкого уровней представляют собой циклические цифровые ёмкости, предоставляемые под загрузку информационными данными с подходящими скоростями. Виртуальные контейнеры низкого уровня могут объединяться для размещения в виртуальные контейнеры высокого уровня. Понятие «виртуальность» этим цифровым блокам присвоено из-за специальных данных, называемых заголовками которых приписывается уникальный маршрутный идентификатор для адресного переноса каждого контейнера через транспортную сеть от источника информации до получателя; ведётся контроль качества передачи «из конца в конец» или отдельным участкам маршрута; вставляются сообщения о необходимости защитных переключений; вставляются сообщения о виде информационных данных; поддерживается служебная связь и т.д. Благодаря непрерывной циклической передаче виртуальных контейнеров может поддерживаться однонаправленное и двунаправленное транспортное соединение — тракт или маршрут, рассчитываемое на различную пропускную способность в интересах потребителей транспортных услуг. Эти соединения могут проходить через различные системы передачи SDH различными иерархическими уровнями STM-N.

Уровень каналов сети SDH обеспечивает интерфейсы для пользователей транспортной сети. Учитывая, что транспортная сеть SDH является частью первичной сети связи, на уровне каналов производится согласование с вторичными сетями (пользователями), например, с телефонными сетями через потоки цифровых данных 2,048 Мбит/с (E1), с сетями Ethernet на скоростях передачи

10, 100 и 1000 Мбит/с, через сцепки виртуальных контейнеров и протоколы согласования.

Все процедуры формирования цифровых блоков SDH происходят с использованием единого высокостабильного тактового механизма — тактовой сетевой синхронизации (ТСС). Создание и поддержка всех соединений в сети SDH и контроль всех функций обеспечиваются системой управления, имеющей сеть выделенных каналов связи и средства протокольного взаимодействия через эти каналы.

Модель транспортной сети OTN-ОТН представлена двумя самостоятельными по своей организации уровнями: сети OTN и пользователя.

Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней: среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM); оптических секций ретрансляции OTS (Optical Transmission Section) и мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section); оптических каналов OCh (Optical Channel) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков OTUk (Optical Transport Unit-k) с включением в них блоков данных оптических каналов ODUk (Optical channel Data Unit-k), которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов OPUk (Optical Channel Payload Unit-k). Индекс k соответствует иерархической ступени ОТН (k - 1,2,3) и указывает на различные по длительности, ёмкости и скорости передачи циклы. Оптические секции базируются на ресурсах одномодовых волоконных световодов со стандартными характеристиками и огромной полосой частот передачи, которая достигает примерно 30...60 ТГц в диапазоне волн 1260... 1675 нм для различных типов волокон. Этот диапазон используется в режиме WDM с числом волновых каналов 2...4 OCh до нескольких сотен OCh, объединяемых в оптические волновые (транспортные) модули OTM (Optical Transport Module) ёмкостью до 16 OCh в каждом. Таким образом, среда передачи в этой модели транспортной сети позволяет достигать скоростей передачи порядка 10 и более

Тбит/с при скорости передачи в каждом из волновых каналов от 2,5 до 40 Гбит/с, а в перспективе 120 Гбит/с.

Оптические секции ретрансляции OTS организуются внутри оптической секции мультиплексирования OMS для компенсации потерь оптической мощности в стекловолноке и компенсации дисперсионных искажений. Эти функции обеспечивают линейные оптические примусные волоконные усилители с эквалайзерами, романовские оптические усилители и компенсаторы хроматической и поляризационной дисперсии, а в перспективе полностью оптические регенераторы 2R и 3R.

В оптической секции мультиплексирования формируются, передаются, обслуживаются и расформируются отдельные оптические каналы, оптические волновые модули OTM с числом каналов до 16 группы оптических модулей. Каждый оптический модуль может иметь отдельный оптический сервисный канал, в который включаются служебные данные для каждого OCh. Кроме того, в секции оптического мультиплексирования создаётся сервисный оптический канал для обслуживания всей секции и отдельных участков — секций ретрансляции OTS. Секция OMS может иметь гарантированную защиту благодаря дублированию передачи в альтернативной кабельной линии с соответствующими секциями ретрансляции. Нормированное время защитного переключения составляет 50 мс. Различают следующие модели:

- транспортная сеть SDH, рекомендации G.707, G.783, G.803 и др;
- транспортная сеть OTN-OTN (Optical Transport Network — Optical Transport Hierarchy, оптическая транспортная сеть — оптическая транспортная иерархия), рекомендации МСЭ-Т G.709, G.798, G.872 и др:

- транспортная сеть Ethernet, рекомендации G.8010, G.8011, G.8012.

Указанные модели имеют общие черты: иерархическое уровневое построение, где каждый уровень имеет самостоятельный и независимый от других уровней набор функций; наличие физического уровня, представляемого системой передачи с организацией секций; образование трактов (маршрутов)

физического и виртуального характеров; уровни взаимодействия с пользователем транспортной сети.

Модельное уровневое построение транспортных сетей чёткое представление об аппаратных, алгоритмических и сетевых возможностях по организации взаимодействий при передаче информации, т.е. о транспортной технологии, например, поперечной совместимости оборудования различных производителей и оборудования различных стандартов мультиплексирования транспортных сетей.

Рассмотрим указанные модели транспортной сети подробнее. Модель транспортной сети SDH представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: среды передачи, трактов, каналов.

Уровень среды передачи базируется преимущественно на оптоволоконных линиях (среда передачи), в которые создаются секции регенерации цифровых линейных сигналов и секции мультиплексирования цифровых данных.

Среда передачи содержит: волоконные световоды в конструкциях различных кабелей; электрооптические преобразователи на передаче и оптоэлектронные преобразователи на приеме; оптические усилители, оптические аттенюаторы и компенсаторы дисперсии; разъёмные и неразъёмные оптические соединители; линейные кодеры и декодеры; оптические модуляторы и оптические детекторы.

Секцией мультиплексирования начинается и заканчивается участок волоконно-оптической системы передачи. Секция мультиплексирования может содержать от одного до нескольких участков — секций регенерации, которые необходимы для устранения искажений линейных импульсных сигналов и восстановления их формы и мощности. Секции регенерации и мультиплексирования являются предметом технической эксплуатации. Для этого в рамках стандартизации SDH предусмотрены служебные сообщения по контролю качества передачи по битовым ошибкам, служебная связь, каналы

управления и синхронизации. Секция мультиплексирования вместе с входящими в неё секциями регенерации может дублироваться с целью гарантированной защиты от повреждений.

Модель транспортной сети Ethernet.

Модель транспортной сети Ethernet состоит из двух уровней: уровень среды передачи кадров Ethernet и формирования кадров (пакетов) Ethernet.

Уровень среды передачи сети Ethernet может быть реализован на базе волоконных световодов и атмосферных оптических каналов с использованием соответствующих конверторов сигналов (приёмопередатчиков), что характерно для локальных и городских сетей связи и это наиболее экономичное решение относительно других моделей транспортных сетей. При организации связи на большие расстояния (например, более 100 км) уровень среды передачи может быть представлен транспортными сетями SDH, OTN или их сочетанием и использованием плезиохронной передачи PDH. В этом случае решение по транспортной сети не отличается от других моделей дешёвой. В этой модели, как и других на уровне среды передачи поддерживается тактовый и при необходимости цикловой синхронизм. Также возможна реализация функций защитных переключений на резервную среду передачи за интервал времени до 50 мс.

Уровень формирования кадров (пакетов) Ethernet состоит из двух подуровней: управления логическим каналом LLC (Logical Link Control) и управления доступом к среде передачи MAC (Medium Access Control). Эти подуровни протокольные, их функции предписаны определенными алгоритмами для процессоров, которые формируют кадры с информационными данными и служебными сообщениями.

Логическим развитием модели транспортной сети Ethernet стала модель транспортной сети с пакетной передачей и коммутацией по меткам T-MPLS (Transport Multi-Protocol Label Switching — транспортная многопротокольная коммутация по меткам).

Разработка этой модели нацелена на повышение эффективности использования ресурсов магистральных и внутризоновых оптических транспортных сетей с технологиями циклической цифровой передачи: PDH, SDH и OTN. Кроме того, для местных и локальных сетей, где преобладает использование передачи Ethernet на скоростях 100, 1000 и 10000 Мбит/с, применение протокола T-MPLS позволит внедрить широкий спектр услуг по передаче речи (IP-телефония), видеоизображение (IPTV-телевидение) и Интернет.

Оптический канал OCh в оптической сети выполняет при терминировании функции регенерации цифрового сигнала типа 1R т.е. восстанавливает амплитуду импульсов (1R) их форму (2R) и устраняет накопленные фазовые дрожания (3R) (рис. 1.5). Также производится оптическая модуляция и детектирование, контроль качества передачи цифровых данных в блоках OTUk и ODUk и т.д.

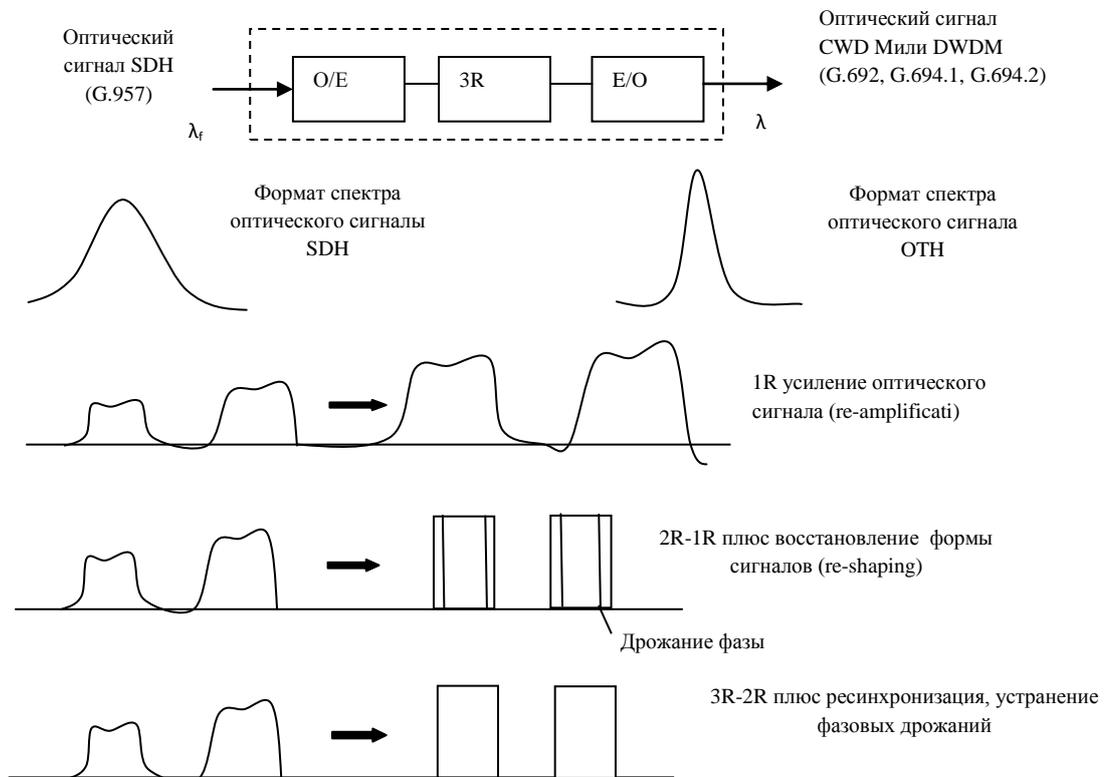


Рис.1.5. Принцип 3R регенерации в транспондере OTN

Уровень пользователя оптической транспортной сети OTN-OTN выполняет функции интерфейса между транспортной сетью и сетями пользователей транспортных услуг, к которым относятся сети SDH, ATM, Ethernet и др. Для эффективного согласования между сетями применяются различные протокольные решения по размещению данных пользователей в оптических каналах. Протоколы позволяют согласовать циклическую передачу данных в оптических каналах со случайной во времени передачей пакетов данных различной емкости от пользователей, например, пакеты IP, MPLS или Ethernet.

1.3. Методы контроля технического состояние волоконно-оптических сетей и систем, сетей телекоммуникации и постановка задач исследования.

Интенсивное развитие современных телекоммуникационных сетей выдвигает на первый план задачу централизованного контроля разнообразного оборудования, каналов и трактов. Для контроля качества услуг, предоставляемых операторами телекоммуникационных сетей (ТКС), основополагающим является установление соответствия параметров сети регламентирующим значениям.

В обеспечении требуемого уровня качества функционирования и надежности ТКС особая роль принадлежит процедурам измерения, анализа, тестирования, мониторинга, контроля и диагностирования. Данные процедуры необходимо рассматривать с единых позиций сквозного контроля в телекоммуникациях [1].

Одним из широко используемых при сквозном контроле в телекоммуникациях является понятие "Измерение", которое подразумевает нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств, хранящих в явном или неявном виде

единицу физической величины. Не менее распространенным является понятие "Анализ" — это метод исследования, проводимый путем рассмотрения отдельных стадий, свойств и составных частей объекта или процесса (в том числе сигнала) с помощью специальных технических средств, осуществляющих измерения с последующей обработкой по определенному правилу результатов этих измерений. Процедуры измерения и анализа предназначены для установления неизвестных значений физических величин и их параметров.

Под тестированием понимают установление опытным путем соответствия состояния и свойств объекта или процесса, находящегося под воздействием строго определенной физической величины или величин, заданной норме. Наряду с тестированием в последнее время все чаще используется понятие "Мониторинг". Мониторинг — это распределенный в пространстве система тестирования, анализа и измерения с централизованным получением результатов.

Близкими, но не эквивалентными тестированию и мониторингу, являются диагностирование и контроль, представляющие собой процесс установления соответствия состояний и свойств объекта или процесса заданной норме путем восприятия физических величин, сопоставления их с предварительно установленными значениями или совокупностями значений (масками) и последующим формированием суждения — вывода. Иными словами, диагностированию и контролю подвергаются объекты ТКС или параметры процесса с получением результата, являющегося их качественной характеристикой, в виде вывода о нахождении объекта или процесса в норме или вне нормы. При контроле должен быть получен ответ на вопрос, соответствует контролируемый объект или процесс требуемой норме, а при диагностировании должен быть сформулирован вывод о месте и причине несоответствия. По результатам долгосрочного контроля и диагностирования можно сформулировать заключение о предстоящем развитии или исходе

протекающих в объекте процессов, т. е. осуществить прогнозирование, например возможных нарушений передачи, или определить направление дальнейшего развития объекта, ТКС в смысле его усовершенствования.

Таким образом, используя сквозной контроль в ТКС, можно представить математическую модель контроля сети, что позволяет, выбрать соответствующие методы контроля характеристик сети, измерительные приборы, точки контроля и контролируемые параметры.

С учетом изложенного выше математическая модель контроля и диагностирования элементов телекоммуникационных сетей может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta = (N, P_N, Y_N, M, S_p, S_K, K_{OD}, T), \quad (1.1)$$

где N — множество контролируемых объектов; P_N — множество точек контроля в ТКС; Y_N — множество параметров контроля и допусков на них в ТКС; M — множество методик контроля и измерения в ТКС; S_p — множество стандартов, определяющих нормы на параметры; S_K — множество средств контроля и измерения; K_{OD} — множество каналов обмена данными между объектами контроля и средствами контроля; T — опорные моменты времени, в которых производится контроль данного объекта ТКС.

Система мониторинга осуществляет контроль функционирования сети и если в ходе контроля ТКС обнаружена неисправность какого-либо элемента то сеть реконфигурируется; данный элемент выводится из режима функционирования.

Система технического диагностирования включает три основных элемента: объект диагностирования, средства технического диагностирования и человека-оператора. Так, на состояние цифровой системы передачи (ЦСП) влияют техническое состояние ее оборудования, состояние среды распространения и объем обслуживаемой информационной нагрузки. Кроме того, в состав оборудования ЦСП входит не только аппаратная часть, но и целый комплекс программного обеспечения,

определяющего режимы работы аппаратуры и выполняемые ею функции. Необходимо рассматривать не только алгоритмы и методы, применяемые для определения технического состояния, но и способы их реализации с учетом специфики объекта и воздействующих на него факторов.

Процесс контроля в общем случае представляет собой подачу на объект определенных воздействий (входных сигналов) и многократное измерение и анализ ответных реакций (выходных сигналов) объекта на эти воздействия. Воздействия на объект поступают от средств контроля, либо являются внешними, по отношению к системе контроля, сигналами, определенными рабочим алгоритмом функционирования объекта.

Классификация методов диагностирования ЦСП представлена на рис. 1.6



Рис.1.6. Классификации методов диагностирования ЦСП

В первом случае воздействия называются тестовыми (стимулирующими), а во втором — рабочими (контроль при этих воздействиях называют соответственно тестовым и функциональным).

Тестовые воздействия могут подаваться как в процессе проверки объекта, когда он не используется по назначению, так и при выполнении им своих рабочих функций. Во втором случае тестовыми воздействиями могут быть лишь сигналы, которые не нарушают нормальную работу объекта.

Тестовые воздействия могут подаваться как на основные входы объекта, так и на дополнительные, предусмотренные специально для контроля. Рабочие воздействия поступают только на основные входы объекта.

Весь спектр контрольных измерение в ВОСП делятся на два типа: системные и эксплуатационные. Для обеспечения работоспособности и соответствия параметров ВОСП установленным нормам посредством системы мониторинга необходимо проводить множество системных и эксплуатационных измерений, которые отличаются методиками и используемыми средствами измерений.

На рис 1.7 приведена общая классификация видов контроля, измерений и тестирования в электросвязи, а на рис. 1.8 классификация измерений в ВОСП. из которых видно, что для контроля большого количества различных параметров ТКС и ее элементов необходимо использовать разнородные средства контроля (специализированные системы контроля, автономные средства контроля), отличающиеся как принципами построения, так и функциональными возможностями.

Общий принципы построения СМ удовлетворяющие необходимым требованиям приведены в рекомендации МСЭ-Т Т .434. Система создаст контрольные (тестовые) цифровые последовательности и состоит из общесетевого контроллера и тестовых модулей устанавливаемых на каждый станции сети (рис.1.9). Контроллер определяет график тестирования и управляет запуском тестов в тестовых модулях.

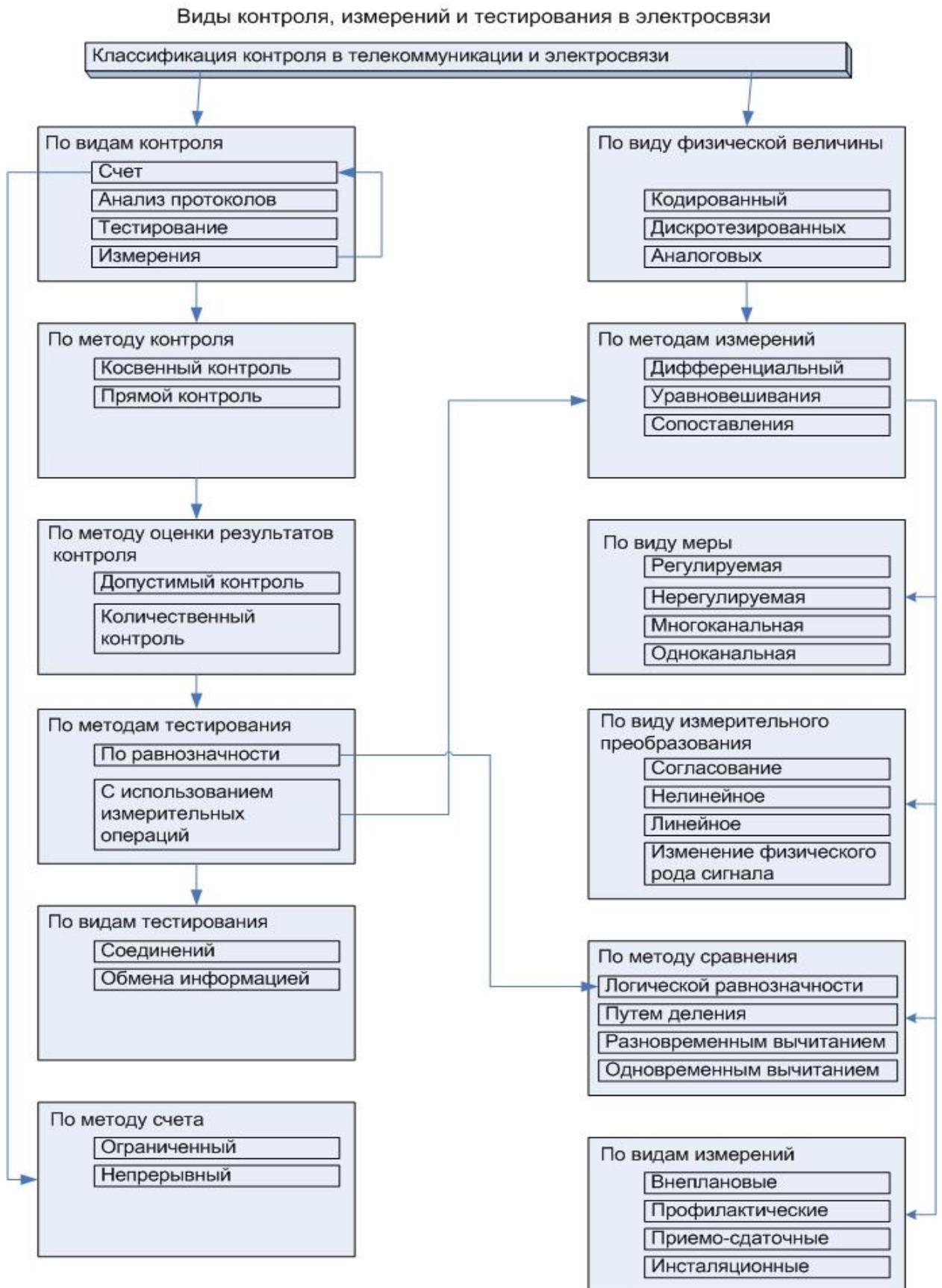
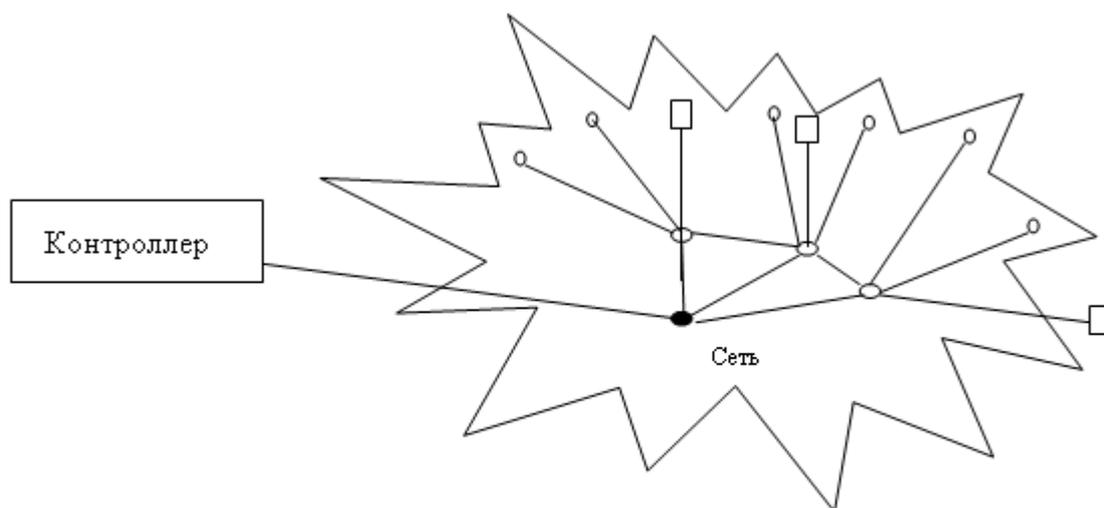


Рис.1.7 Классификация и виды контроля, измерение и тестирования в электросвязи.



- | | | | |
|---|---------------------|---|----------------------|
| ○ | - абонентский пункт | □ | - тестовый модуль |
| ○ | - оконечная станция | ● | - транзитная станция |

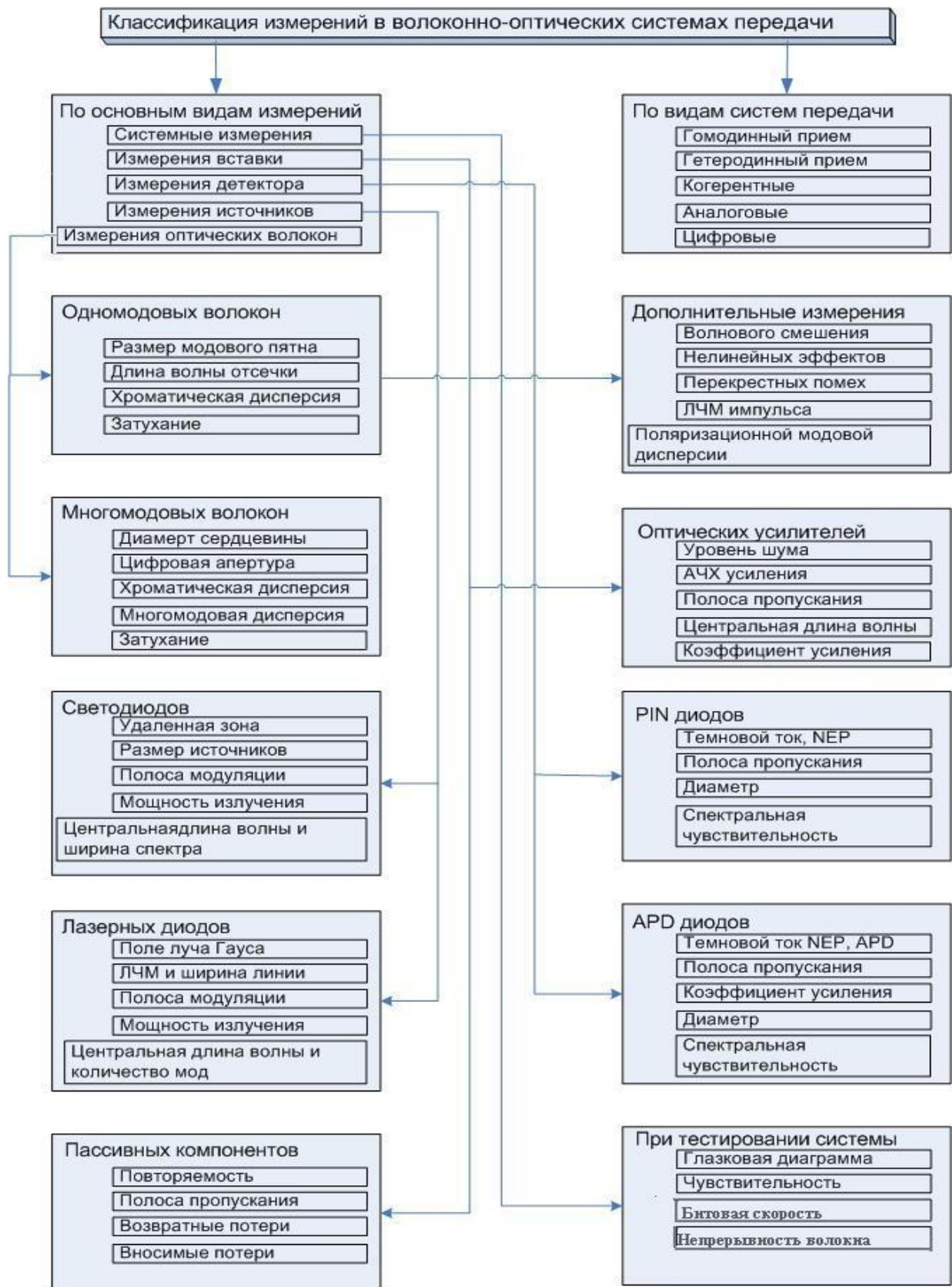


Рис.1.8. Классификация измерение в ВОСП.

Рис. 1.9. Архитектура системы измерения качества услуг «от абонента до абонента».

В данной магистерской диссертации рассматриваются методы мониторинга показателей качества функционирования ВОСП и сетей базирующихся на системных измерениях, а именно частоты битовых ошибок.

Системные измерения включают измерение непрерывности волокна, частоты битовых ошибок, чувствительности и глазковой диаграммы. В настоящее время наиболее распространенным прибором является оптический рефлектометр, который позволяет обнаруживать наличие и местоположение разрывов волокна. Широко используемым прибором является так же BER анализатор позволяющий определить другую важную характеристику системы с точки зрения ее функционирования – скорость битовых ошибок (BER) – количество ложных битов относительно общего количества переданных битов. Более детальные измерения, как правило, проводятся во время проектирования и инсталляции системы. На этих этапах важным становится вопрос чувствительности, представляющей наименьший уровень

мощности, который приводит к необходимому значению BER, что также измеряется при помощи BER – анализатора. Для уменьшения уровня передаваемой мощности до тех пор, пока скорость ошибок не превысит заранее определенного значения используется оптический аттенюатор. Еще более специфическим является измерение глазковой диаграммы, для чего передатчик модулируется с псевдослучайной последовательностью, а полученный сигнал отображается на осциллографе с использованием системного генератора для его запуска. В этом случае на экране отображается большое количество различных диаграмм, которые позволяют приблизительно определить системные параметры (джиттер, отношение сигнал/шум и межсимвольная интерференция).

Для осуществления контроля системных характеристик ВОСП и ТКС в СМ необходимо использовать системное оборудование имеющие широкие возможности интеграции в измерительно-информационные комплексы как часть автоматизированных системы управления сетью ТМН. К системному оборудованию СМ предоставляются следующие требования: функциональность тестов, возможность интеграции в системе, быстрота и легкость модернизации, удобство эксплуатации, надежность, стоимость, портативность.

Функциональность обеспечивается тем, что спецификация тестов должна удовлетворять существующим и перспективным стандартам и методологиям.

На основании выше проведенного предварительного анализа методов контроля телекоммуникационных систем и сетей в данной работе поставлена цель проанализировать методы мониторинга показателей качества функционирования волоконно-оптических систем и транспортной сети телекоммуникации. В качестве основного показателя контролируемого мониторингом выбрано частота битовых ошибок. Базирующихся на системных измерениях объектом исследования является ВОСП и ВОТС в

которых используется технологии SDH и WDM, т.е. ВОСП с мультиплексированием по длине волны (спектральное уплотнение).

Предметом исследования являются показатели качества функционирования ВОТС и методологические аспекты построения системы мониторинга.

Для достижения поставленной цели в работе ставятся следующие задачи:

1. Анализ построения объектов мониторинг – волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) и волоконно-оптические транспортные сети (ВОТС) базирующие на использовании современной технологии передачи.

2. Рассмотреть модели оптических транспортных сетей.

3. Анализ методов контроля технического состояния объектов телекоммуникации, классификации видов контроля, диагностирования, тестирования и измерения параметров функционирования ВОСП и ВОТС.

4. Исследовать методологические аспекты построения системы мониторинга волоконно-оптических сетей телекоммуникации на основе анализа факторов влияющих на механизм распространения светового сигнала и изменения мощности оптического сигнала в ВОЛТ.

5. Исследование задачи повышения оперативности и методической достоверности контроля функционирования линейных трактов ВОСП с мультиплексированием по длине волны (МДВ) и с волоконно – оптическими усилителями (ВОУ) посредством построения системы непрерывного контроля ВОСП.

6. Сформировать основные аспекты построения информационно – измерительной системы для мониторинга ВОСП и ВОТС.

7. Провести исследование мониторинга системного показателя качества функционирования ВОСП и ВОТС показателя ошибок для чего провести анализ их типов и источников возникновения ошибок методы оценки

показателей ошибок на основе BER и процедур расчёта показателей ошибок на основе ES и SES.

8. Рассмотреть методы мониторинга сред передачи пассивных и активных элементов и тестирования BER в ВОСП и ВОТС.

9. Исследовать отдельные аспекты построения системы мониторинга несанкционированного доступа к ВОЛС на базе использования в качестве основного измерительного средства оптический рефлектометр, а также вопросы энергетической оценки мониторинга несанкционированного доступа.

Выводы

1. Методы мониторинга показателей качества функционирования телекоммуникации зависят от структуры построения ВОСП и волоконно-оптической транспортной сети ВОТС и используемых при этом технологий передачи.

2. Рассмотренные системы сетей телекоммуникации и их модели характеристика и технического состояния ВОСП и сети телекоммуникации является научно-методологической базой для построения систем мониторинга, что показывает актуальность темы магистерской диссертации параметры функционирования является объектом мониторингового контроля.

3. Изложенные методы контроля диссертации.

4. Первостепенная задача системы мониторинга контроль системных показателей функционирования ВОСП и ВОТС, в том числе показателей битовых ошибок.

2. МОНИТОРИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ СИСТЕМНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОСП И ВОТС

2.1. Методологические аспекты построения системы мониторинга волоконно-оптических сетей телекоммуникаций

Интенсивное развитие ВОСП и их эксплуатация диктуют необходимость устранения неисправностей, прогнозирования деградации и обнаружения фактов несанкционированного доступа, контроля состояния линейного тракта и обеспечение эффективного функционирования сети. Решение таких задач можно осуществить системами мониторинга элементов ВОСП и сети в целом, которые представляют собой распределенные по сети контрольно – измерительные средства, программное обеспечение для анализа результатов непрерывного контроля и привязки этих результатов к схеме сети, а также базу данных по результатам контроля. Задача рационального построения СМ для волоконно-оптические систем передачи и сетей является актуальной.

В основе работы СМ положены методы диагностирования объектов телекоммуникаций, а технические средства мониторинга обычно представлены коммутатором тестируемых волоконно и оптическим импульсным рефлектометром, осуществляющим тестирование волокна. Производится тестирование резервного и рабочего ОВ, для чего используется длина волны, отличная от той, что используется для передачи данных. На приемной стороне производится разделение этих длин волн. Это метод можно использовать для всех волокон контролируемого ОВ. Результаты тестирования анализируются с помощью специализированного ПО, определяются отклонения от установленных пределов, фиксируются факты нарушения качества ВОСП, а накопленная статистика позволяет определить степень возможной деградации ОВ.

Указанный метод мониторинга ВОСП реализован в ряде систем мониторинга таких компаний, как Acterna, Agilent, EXPO и Nettest.

Основные задачи технического мониторинга ВОСП заключаются:

- установления соответствие параметров ВОСП регламентируемым нормам;
- повышение достоверность и скорость контроля данных параметров;
- сокращение времени локализации и идентификации отклонений параметров ВОСП по сравнению с традиционным способом контроля системы;
- привязка обнаружения особенности к схеме ВОСП и географической карте, что существенно упрощает ее обслуживание;
- выявление фактов механических воздействий на ОК и несанкционированного доступа;
- прогнозировать возможность возникновения неисправности в сети, за счет систематического накопления и анализа результатов контроля;
- проведение испытание кабелей в сети одним квалифицированным специалистом, что повышает эффективность обслуживания большой сетевой зоны;
- сокращение парк и унификации оборудование, необходимого для обслуживания участков сети.

Данная совокупность задач может быть эффективно решена при наличии в системе мониторинга возможности формирования топологии и оптимизации архитектуры сети мониторинга, что требует математического моделирования ВОСП и использования передовых методов тестирования, обработки и анализ полученных результатов.

Основным факторами, определяющими являются: архитектура, топология и возможность будущего развития сети; параметры ВОСП; структура администрирования сети; используемые виды связи.

Для адаптации СМ к многочисленным конфигурациям ВОСП и телекоммуникационной сети, необходимо определить контролируемые параметры, оптимизировать архитектуру сети мониторинга и определить способы организации связи между компонентами СМ по различным каналам. Которые могут быть организованы по телефонной сети общего пользования, через сеть X.25 по интерфейсному протоколу V.11, через WAN/LAN сеть посредством протокола TCP/IP. Широкий выбор каналов связи придает большую гибкость возможным техническим решениям.

Рассмотренные особенности СМ позволяют дистанционно управлять тестированием ВОСП, а также функциями моделирования, оптимизации, картографирования, администрирования и документирования сети.

Благодаря расширенным возможностям анализа рефлектограмм и ее особенностей выполняется высокоточное измерение затухания, потерь, отражений как в автоматическом, так и в полуавтоматическом и ручном режимах.

Возможность идентификации событий по заданным маскам обеспечивает локализацию отклонений параметров потерь и отражений, возникновения признака конца или обрыва волокна с очень высокой достоверностью. Результаты измерений могут быть представлены как графическом так и в табулированном виде.

Наличие в СМ функции визуализации местоположения отклонений параметров ОВ позволяет устанавливать соответствие расстояния между маркерами на географической карте с расстоянием измеренным оптическим способом, облегчая локализацию неисправностей.

Методология мониторинга определяется этапом ввода СМ в ВОСП телекоммуникационной сети. Так, в процессе строительства сети бригада выполняющая работы в соответствии с заданными требованиям может использовать портативный компьютер, подключаемый к СМ через сеть Интернет. В этом случае пользователь входит в базу данных текущего

участка, а затем проверяет и утверждает работу перед построением следующего участка сети, используя в качестве маркера для привязки географических и оптических расстояний временной конца волокна. При этом производится дистанционный контроль монтажа кабеля, определение качества сварных соединений, создание документации, централизованное ведение документации и процедур контроля, фиксация оптической дистанции с привязкой к местности.

В процессе эксплуатации ВОСП для СМ задаются:

1. Условия выполнения процедуры мониторинга:

Немедленно, периодически или по заданной во времени программе, в момент, когда происходит тревога;

2. Условия обнаружения нарушений в ходе следующих процессов:

контроля точек на сети связи; ручного измерения с использованием курсоров; определения составляющих потерь и порога отражения; автоматического измерения с использованием масок; фиксации изменения интересующих параметров;

3. Режимы выполняемых действий: визуализации, сохранения, восстановления при тревоге.

На этапе наблюдения происходит автоматическое обнаружение нарушений в следующей последовательности: снятие рефлектограммы, задание установок и критериев сравнения, обнаружение и локализация нарушений.

Когда обнаруживается отклонение параметров ВОСП, происходит передача сообщений с детальной информацией о результатах идентификации и локализации отклонений с учетом параметров оптических компонентов и топологических идентификаторов.

При техническом обслуживании выполняется регулярное автоматическое накопление в базе данных характеристик и результатов

измерений ВОСП (ослабления, потерь, отражений, рефлектограмм и др.), что позволяет:

- идентифицировать и устранять нарушения до выхода на линию бригады обслуживания;
- контролировать качество ОК;
- проводить вычисления по нескольким индикаторам качества; устанавливать статус сети.

Каждая из рассмотренных процедур имеет свой уровень приоритета, который может быть изменен. Изначально наивысший приоритет устанавливается для процедуры измерений. Администратор системы может устанавливать приоритеты для каждого пользователя и определять группы несанкционированных пользователей.

СМ может управлять также сигнализацией нарушений посредством функций: активации критериев обнаружения отклонений; передачи сообщений системе управления или другому адресату; архивирования и удаления данных сигнализации.

В результате, имея накопленные данные и набор инструментов для их анализа, пользователь может отслеживать развитие индикаторов качества, анализировать общую тенденцию и разработать политику обслуживания сети. Результаты измерений и другие данные могут быть представлены в виде твердых копий.

СМ классифицируется по основным признакам:

- по степени охвата (локальные, общие);
- по характеру взаимодействия между объектом контроля и СМ (функциональные, тестовые);
- по используемым средствам технического диагностирования (универсальные, специализированные, с внешними и встроенными средствами); по степени автоматизации СМ (автоматические, автоматизированные) ручнее.

Показатели СМ используются для оценки состояния ВОСП посредством его диагностирования. К основным показателя относятся: вероятность ошибки диагностирования, контроле пригодность выражаемые через коэффициенты полной проверки, глубины поиска, длины теста диагностирования и других показателей.

Ключевым компонентом СМ является информационное измерительная система.

Использование СМ обеспечивает оптимальное, решение задач автоматического обнаружения, локализации и индикации на географической карте отклонений характеристик ВОСП и позволяет выявлять факты несанкционированного доступа в сеть, минимизировать время устранения нарушений и прогнозировать возможные нарушения в будущем. СМ становится определяющим фактором и решает актуальную задачу современных систем телекоммуникаций по обеспечению эффективности функционирования сети телекоммуникаций.

Изложенные методологические аспекты построения системы мониторинга волоконно-оптические систем и сетей телекоммуникаций используются при исследованиях проводимых в данной магистерской диссертации.

2.2. Особенности непрерывного контроля волоконно-оптического линейного тракта на основе системы мониторинга.

2.2.1. Анализ факторов - влияющих на изменение мощности оптического сигнала в ВОЛТ

Известно, что оптическое волокно как составной элемент оптического кабеля представляет собой волноводную структуру, в которой оптическое

излучение распространяется по закону полного внутреннего отражения. Принимая это во внимание, можно выделить следующие группы факторов, влияющих на механизм распространения световой ЭМВ и изменение мощности оптического сигнала в волоконно-оптическом линейном тракте:

- группа факторов естественного происхождения;
- группа факторов, создаваемых искусственно (специально, в том числе НСД).

К первой группе факторов, в частности, относятся такие, как изменение:

- параметров активных компонентов ВОЛТ (источника излучения, ВОУ и т. д.);
- показателя преломления сердцевины (прозрачности) в случае намокания оптоволокна;
- показателя преломления сердцевины (прозрачности) за счет изменения температуры окружающей среды;
- показателя преломления сердцевины (прозрачности) за счет деформации при растяжении.

Ко второй группе факторов можно отнести следующие нарушения полного внутреннего отражения в ОВ за счет:

- механического воздействия (изгиб волокна) — ситуация, при которой происходит нарушение полного внутреннего отражения и часть светового потока который выходит из ОВ;
- оптического туннелирования света;
- специально напыляемых покрытий и оптических смазок;
- воздействия стационарных электромагнитных полей;
- воздействия акустических (звуковых) волн;
- локального сдавливания ОВ вызывающего неконтролируемое рассеяние света;

– изменения показателя преломления сердцевины (прозрачности) в случае возможного воздействия на ОВ соответствующих доз ионизирующих излучений.

Исследования [1-2] показали, что во всех указанных случаях происходит изменение передаваемой по ОВ оптической мощности и существует принципиальная возможность сбоев в работе оборудования, снижение качества обслуживания пользователей, потери значительного объема передаваемой информации, объема информации путем НСД, что крайне нежелательно, а применительно к волоконно-оптическим сетям вообще недопустимо.

При детальном рассмотрении каждого из факторов можно выделить ряд существенных и характерных признаков, которые позволяют однозначно классифицировать тот или иной сбой в работе аппаратуры или определенное деструктивное воздействие. Наиболее значимыми в этом смысле являются статистические параметры передаваемого оптического сигнала. Покажем справедливость сказанного выше.

Согласно квантовой теории энергия оптического сигнала поглощается приемником квантами величиной hf . Применительно к системам с аналоговой модуляцией интенсивности качество приема в них определяется как значением переменной составляющей модулированной интенсивности $J(t)$, так и постоянной составляющей J_0 — квантовым шумом.

В оптическом сигнале с детерминированной интенсивностью $J(t)$ число фотонов n на тактовом интервале $(0, T)$ распределено по закону Пуассона

$$p(n) = m^n / n! \exp(-m) \quad (2.1)$$

с математическим ожиданием \bar{n} , равным интегралу

$$m = \int_0^T J(t) dt \quad (2.2)$$

и дисперсией $\sigma_n^2 = \bar{n}$.

В связи с этим переходят к представлению сигнала потоком фотонов с изменяющейся интенсивностью:

$$J(t) = P(t)/hf, \quad (2.3)$$

где $P(t)$ — мощность излучения.

Это закономерно в том случае, когда поле оптического сигнала имеет случайную амплитуду.

$A(t)$, а интенсивность $J(t)$ (t) флуктуирует. Значение интеграла в выражении (2.4) также будет носить случайный характер с распределением по некоторому закону $w(m)$, определяемому характером флуктуации интенсивности. В результате число фотонов на тактовом интервале $(0, T)$ определяется как среднее значение m , равное интегралу от математического ожидания интенсивности потока фотонов, с помощью выражения

$$\bar{n} = \bar{m} = \int_0^T \bar{J}(t) dt \quad (2.4)$$

Дисперсия, характеризующая уровень квантового шума сигнала, увеличивается ($\sigma_n^2 > \bar{n}$).

Изменяется также закон распределения вероятностей числа фотонов $p(n)$, который становится на Пуассоновским. Данный закон имеет вид

$$p(n) = \int_0^\infty p_n\left(\frac{n}{m}\right) w(m) dm \quad (2.5)$$

где $p_n(n/m)$ — распределение Пуассона [1].

Выражение (2.5) представляет собой целый класс распределений, называемых условно Пуассоновскими. Вид конкретного распределения зависит от характера флуктуации интенсивности и определяется видом

распределения m . Важным свойством таких распределений является неизменность закона распределения при преобразовании потока фотонов в поток фотоэлектронов с вероятностью одиночных преобразований $\eta < 1$, называемой квантовым выходом. При таком преобразовании изменяется только среднее значение интенсивности оптического излучения, что эквивалентно уменьшению мощности оптического сигнала.

Другим полезным с практической точки зрения свойством является то, что дисперсия σ_T^2 в условно-пуассоновских распределениях равна сумме дисперсии, определяемой по распределению $w(m)$, и пуассоновской дисперсии при заданном среднем

$$\bar{n} = \bar{m}; \quad \sigma_n^2 = \sigma_m^2 + \bar{n}. \quad (2.6)$$

Где $\sigma_m^2 = \int_0^{\infty} (m - \bar{m})^2 w(m) dm$ - дисперсии флуктуаций интенсивности излучения на тактовом интервале $(0, T)$, выраженная в числе фотонов, а \bar{n} - квантовая дисперсия пуассоновского распределения.

2.2.2. Построение системы мониторинга волоконно-оптического линейного тракта.

Современные телекоммуникации развиваются благодаря успехам в оптических технологиях передачи, распределения и обработки информации. Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) являются основными транспортными элементами сетей связи. При внедрении мультиплексирования по длине волны (МДВ) и волоконно-оптических усилителей (ВОУ) плотность оптической энергии, вводимой в оптическое волокно (ОВ), значительно увеличивается. Существенно усложняются вопросы обеспечения эффективного функционирования соответствующих и сети телекоммуникации в целом ВОСП управление ее элементами, контроля

состояние линейного тракта, его защиты от несанкционированного доступа (НСД) базирующие на создание, внедрении к эксплуатации современных мониторинговых систем. Практика показывает, что эти задачи не решены в полной мере, что показывает актуальность теми МД.

Внедрение МДВ и ВОУ сопровождается существенным усложнением задач контроля параметров и диагностирования состояние волоконно-оптического линейного тракта (ВОЛТ). Это обусловлено, во-первых, однонаправленностью ВОЛТ с ВОУ, в которых нельзя использовать традиционные средства рефлектометрии [1-3]. Во-вторых, из-за увеличения (до 600 км) длины элементарных кабельных участков потенциально возрастает время реакции системы управления ВОСП на факт повреждения ВОЛТ или НСД к нему.

Разработанный на сегодняшний день научно-методический аппарат контроля ВОСП основан на анализе электрического сигнала на выходе фотодетектора типовыми электроизмерительными средствами. Большинство имеющихся методик диагностики ВОЛТ не учитывают особенностей совместного применения средств МДВ и ВОУ. Методическая достоверность контроля ограничена влиянием шумов ВОУ и фотодетектирования. Кроме того, высокая производительность ВОСП с МДВ и ВОУ приводит к тому, что типовые средства АСУ (фон-неймановского типа) формируют суждения о состоянии контролируемых трактов недостаточно оперативно.

Из изложенного следует, что объективно существует актуальная и практически важная задача повышения оперативности и методической достоверности непрерывного контроля состояния функционирующих линейных трактов ВОСП с МДВ и ВОУ волоконно-оптических сетей связи. Перспективным направлением решения этой задачи может стать разработка и построение системы непрерывного контроля ВОСП на основе интеллектуальных средств обработки оптического сигнала.

Непосредственное применение имеющихся достижений в телекоммуникациях невозможно без представления задач эксплуатации ВОСП в новом вычислительном базисе. Для этого, необходимо:

- обосновать комплекс первичных контролируемых параметров, с достаточной достоверностью описывающих состояние ВОЛТ;
- увязать значения этих характеристик с системными свойствами ВОСП (достоверностью передачи информации, пропускной способностью и пр.).

Проведенные исследования показали, что в качестве контролируемых параметров целесообразно использовать интенсивность оптического излучения, попадающего за один тактовый интервал на вход фотоприемного устройства (ФПУ). В этой связи немаловажную роль играют такие системные показатели, как достоверность и оперативность контроля.

Достоверность контроля (ДК) — показатель, определяющий степень доверия к результатам контроля. При постановке задачи контроля в рамках теории проверки статистических гипотез достоверность контроля оценивается показателями вероятностей ошибок первого и второго рода. Ошибки первого рода α связаны с формированием системой контроля суждения об отказе реально работоспособного тракта. Ошибки второго рода β состоят в принятии реально отказавшего тракта за работоспособностью.

Сложность прямой оценки данного показателя предопределила необходимость введения и отдельного рассмотрения характеристик методической и инструментальной ДК [1, 2].

В целом методическая ДК может быть охарактеризована вероятностями

$$\alpha_M = \rho \left(X_T \frac{\epsilon A_p^{(m)}}{X_T} \in S_p^{(n)} \right); \quad (2.7)$$

$$\beta_M = \rho \left(X_T \frac{\epsilon A_p^{(m)}}{X_T} \in \epsilon S_p^{(n)} \right) \quad (2.8)$$

Инструментальные ошибки контроля определяются погрешностями измерений и могут быть представлены в виде

$$\alpha_{\text{н}} = p \left(X_T \frac{\epsilon A_p^{(m)}}{X_T} \in A_p^{(m)} \right) \quad (2.9)$$

$$\beta_{\text{н}} = \rho \left(X_T \frac{\epsilon A_p^{(m)}}{X_T} \in \epsilon A_p^{(m)} \right) \quad (2.10)$$

Здесь $S_p^{(m)}$ -мерная область работоспособного состояния тракта; n — число контролируемых существенных параметров; $A_p^{(m)}$ - m -мерная аппроксимированная область работоспособного состояния тракта; m — число контролируемых существенных параметров, $m < n$; X_T — значения перечня контролируемых параметров; X_T — результат измерения величины X_T

Таким образом, для обеспечения требуемых показателей ДК необходимо совершенствовать модель линейного тракта (ЛТ) ВОСП с МДВ и ВОУ как объекта контроля. Потери связанные с ошибками контроля первого рода определяются только затратами на восстановление ложно забракованного спектрального канала. Ошибки второго рода определяют вероятность предоставления неработоспособного оптического тракта под привилегированную нагрузку, что может привести к крайне нежелательным последствиям. Поэтому вероятность ошибки второго рода является нормируемой величиной ($\beta \leq \beta^*$).

В связи с изложенным, выше задачу совершенствования системы мониторинга ВОЛТ с МДВ и ВОУ можно сформулировать как задачу оптимизации, целью которой является минимизация при фиксированном значении ($\beta \leq \beta^*$):

$$a(\beta \leq \beta^*) \rightarrow \min. \quad (2.11)$$

Под оперативностью контроля понимается его способность своевременно реагировать на все изменения в состоянии объекта контроля. Показателем оперативности контроля является время формирования суждения о состоянии объекта контроля. При заданных показателях ДК оперативность контроля определяется числом контролируемых параметров и вычислительной мощностью используемых средств и алгоритмов обработки информации [1, 6, 7]. В связи с этим необходимо отметить, что при переходе от одноволновых ВОСП к системам с МДВ и ВОУ недостаточно только кратного увеличения количества средств контроля. При сохранении производительности используемых средств АСУ оперативность получаемых суждений снижается кратно числу организуемых спектральных каналов. С учетом необходимости увеличения числа контролируемых параметров и ужесточения требований к точности их измерения оперативность результирующей системы контроля будет невысокой [2, 5].

Таким образом, организация непрерывного контроля системных параметров является сложной многофакторной задачей, требующей разработки адекватных моделей ЛТ исследуемых ВОСП как объекта контроля; совершенствования средств и методов измерения для повышения их точности и производительности.

В результате проведенных исследований предлагает вариант схемы непрерывного контроля ЛТ (рис. 2.1). На схеме показано, как часть оптического излучения посредством 1% - или – 5% ответвитель может быть доставлена в систему контроля, где реализуется его параллельная и обработка.

Система мониторинга представляет собой информационно – измерительную систему (ИИС), разработанную на основе методологии интеллектуального анализа данных и реализованную средствами нелинейной и интегральной оптики.

Обучение ИИС проводится при инсталляционных измерениях и испытаниях ВОСП в различных режимах ее функционирования. Например, для реализации НСД к функционирующему оптическому линейному тракту необходима согнуть оптическое волокно. В этом случае интенсивность оптического излучения, ответвленного в подсистему контроля падает с определенной скоростью. Обученная предварительно система выдает сигнал «Тревога» за время порядка 1,25 с. Это позволяет оперативно оповестить, а информационный тракт переключить на резервный тракт (для СЦИ время переключения не превышает 50 мс). Сигнал воздействия $I_B(t)$ того или иного дестабилизирующего фактора подается с выходе ИИС в систему управления (блок СУ), а затем с него в систему оперативного переключения (СОП). На аналогичных принципах ИИС может идентифицировать увлажнение, рост микротрещины, радиационное замутнение ОВ и прочие дестабилизирующие факторы.

Запил контролируемых состояний соответствует, например, совокупностей актуальных значений управляемых параметров объекта контроля или характеристики

Обученная ИИС в ходе контроля работоспособности может наблюдать вектор текущих параметров ВОСП, являющийся фрагментом вектора данных, запомненного ею в ходе обучения. Тогда задача ИИС будет состоять в восстановлении известного вектора данных по ключу — его фрагменту. В случае, если измеренная в ходе контроля работоспособности совокупность параметров не совпадает ни с одной из известных ИИС, реализуется поиск вектора, ближайшему наблюдаемому в выбранной метрике.

Реализация предлагаемых научно-технических решений позволит автоматизировать непрерывный контроль линейных трактов ВОЛП любого состава, что существенно повысит их защищенность.

2.2.3. Аспекты построения ИИС для мониторинга ВОТС

Назначение любой измерительной системы, ее необходимые функциональные возможности, технические параметры и характеристики в решающей степени определяются объектом исследования, для которого она создана. Структура современных ИС чрезвычайно разнообразна, быстро развивается и существенно зависит от решаемых задач, а их деление в настоящее время еще не имеет достаточно полного и четкого толкования.

В зависимости от выполняемых функций измерительные системы можно условно разделить на три основных вида:

- измерительные системы измерения и хранения информации;
- контрольно-измерительные (автоматического контроля);
- телеизмерительные системы.

К измерительным системам относят также системы распознавания образов и системы технической диагностики

По числу измерительных каналов измерительные системы подразделяются на одно-, двух-, трех- и многоканальные (многомерные). Для совместных и совокупных измерений часто используют многоканальные аппроксимирующие системы.

Наиболее бурно в настоящее время разрабатываются и внедряются ИС прямого назначения, основной особенностью которых является возможность программным способом перестраивать их для измерений различных физических величин и менять режим измерений. Изменений в аппаратной части при этом не требуется.

Измерительные системы прямого назначения условно делят на:

- информационно – измерительные системы (часто их называют термином измерительные информационные системы);
- измерительно-вычислительные комплексы (ИВК);

– виртуальные информационно-измерительные приборы (компьютерное измерительные системы -- КИС)

Рассмотрим информационно-измерительные системы.

Самым широким классом измерительных систем прямого назначения являются ИИС. Назначение ИИС определяют как целенаправленное оптимальное ведение измерительного процесса и обеспечение смежных систем высшего уровня достоверной информацией. Основные функции ИИС получать измерительной информации от объекта исследования, ее обработка, передача, представление информации оператору или компьютеру, запоминание, отображение и формирование управляющих воздействий.

Информационно – измерительная система должна: управлять измерительным процессом или экспериментом в соответствии с принятым критерием функционирования; выполнять возложенные на нее функции в соответствии с назначением и целью; обладать требуемыми показателями и характеристиками точности, помехоустойчивости, быстродействия, надежности, пропускной способности, адаптивности, сложности; отвечать экономическим требованиям, предъявляемым к способам и форме представления информации, размещения технических средств; быть приспособленной к функционированию с измерительными информационными системами смежных уровней иерархии и другими ИИС.

Основной функцией ИИС, как и любой другой технической системы, является целенаправленное преобразование входной информации в выходную. Это преобразование выполняется либо автоматически с помощью аппаратуры технического обеспечения, либо, совместно — оперативным персоналом и аппаратурой технического обеспечения в сложных ИИС, ИВК

Применение современных средств цифровой схемотехники коренным образом изменило принципы построения ИИС. Кроме того, методы обоснованного распределения и направления информационных потоков дают возможность уменьшить их избыточность. Это позволяет ставить задачу о возможно максимальном переносе обработки измерительной информации к месту ее формирования, т. е. перейти к конвейерной обработке измерительной информации в распределенной МИС. В целом такая система состоит из следующих основных частей: системы первичных преобразователей (датчиков), устройств сбора и первичной обработки информации, средств вторичной обработки информации, устройств управления и контроля, устройств связи с другими системами объекта, накопителей информации.

По организации алгоритма функционирования различают следующие виды ИИС:

- с заранее заданным алгоритмом работы, правила функционирования которых не меняются, поэтому их можно использовать только для исследования объектов, работающих и постоянном режиме;
- программируемые, в которых изменяют алгоритм работы по заданной программе, составляемой в соответствии с условиями функционирования объекта исследования;
- адаптивные, алгоритм работы которых, а часто и структура изменяются, приспособляясь к изменениям измеряемых величин и условий работы объекта;
- интеллектуальные, обладающие способностью к перенастройке соответствии с изменяющимися условиями функционирования и способные выполнять все функции измерения и контроля в реальном масштабе времени.

Математическое программное и информационное обеспечение входит в состав лишь ИИС с вычислительными комплексами
общая структура обеспечения ИИС представлено на рис.2.2.

математическое обеспечение — аналитические (математические) модели объекта исследования (измерения) и вычислительные алгоритмы.

В математическую модель объекта измерения входит описание взаимодействия между переменными входа к выходу, для установившегося и переходного состояний, т. е. модели статики и динамики, а также граничные условия и допустимое изменение переменных процесса. Форма записи математической модели может быть различна: алгебраические и трансцендентные уравнения, дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных. Могут использоваться переходные и передаточные функции, частотные и спектральные характеристики и пр. Различают три основных метода получения математических моделей исследования ИИС: аналитический, экспериментальный и экспериментально-аналитический.

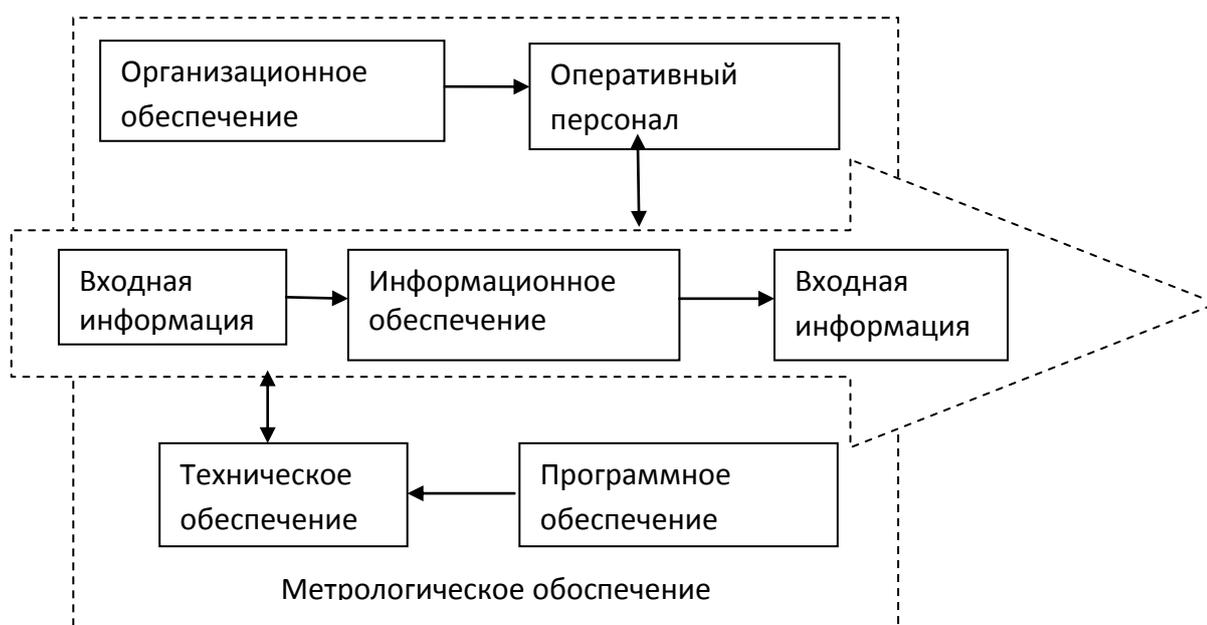


Рис.2.2. Общая структура обеспечения ИИС.

В последние годы при создании большинства ИС наиболее часто используют математическое моделирование, реализующее цепочку: объект — модель — вычислительный алгоритм программа для компьютера — расчет на компьютере — анализ результатов расчета управление объектом исследования.

Алгоритм измерения может быть представлен программно, словесно, аналитически, графически или сочетанием этих методов. Последовательность действий при этом не произвольна, а реализует тот или иной метод решения задачи. Во всех случаях поставленная задача должна быть настолько точно сформулирована, чтобы не осталось места различным двусмысленностям.

Программное обеспечение ИИС включает в себя системное и общее прикладное программное обеспечение, в совокупности образующее математическое обеспечение, которое реализуется программной подсистемой. Системное программное обеспечение - это совокупность программного обеспечения компьютера, используемого в ИИС, и дополнительных программных средств, позволяющих работать в диалоговом режиме; управлять измерительными компонентами; обмениваться информацией внутри подсистем комплекса; автоматически проводить диагностику технического состояния.

По существу, программное обеспечение ИИС представляет собой взаимодополняющую, взаимодействующую совокупность подпрограмм, реализующих:

- типовые алгоритмы эффективного представления и обработки измерительной информации, планирования эксперимента и других измерительных процедур;
- архивирование данных измерений;
- метрологические функции комплекса (аттестацию, поверку,

экспериментальное определение нормируемых метрологических характеристик и т. п.).

Информационное обеспечение определяет способы и конкретные формы информационного отображения состояния объекта исследования в виде документов, диаграмм, графиков, сигналов для их представления обслуживающему персоналу и компьютеру для дальнейшего использования в управлении.

Всю измерительную систему в целом охватывает метрологическое обеспечение.

В структуру технической подсистемы ИИС входят:

- блок первичных измерительных преобразователей;
- средства вычисления электрических величин (измерительные компоненты);
- совокупность цифровых устройств и компьютерной техники
- меры текущего времени и интервалов времени; блок вторичных измерительных преобразователей;
- устройства ввода/вывода аналоговых и цифровых сигналов;
- совокупность элементов сравнения, мер и элементов описания;
- блок преобразователей сигнала, цифровых табло, дисплеев, элементов памяти и различные накопители информации.

Кроме указанных элементов в подсистемы ИИС может входить ряд устройств согласования со штатными системами исследуемого объекта, телеметрией и пр. Важное значение для эксплуатации ИИС имеет эргономическое. Эффективное и наглядное построение форм дисплея и управляющих элементов, называемых интерфейсом пользователя, обеспечивающих взаимодействие оператора с системой

2.3. Мониторинг системных показателей ошибок в волоконно-оптических системах и сетях

В системах ВОСП используются различные типы сервиса, которые при оценке показателей их качества могут быть разбиты на две большие группы: спутниковые каналы и наземные каналы. Для этих каналов могут быть рассчитаны определенные показатели ошибок, которые обычно указываются в соглашениях, заключаемых между продавцами услуг (каналов) и клиентами. Эти показатели ошибок могут быть измерены, если система находится в эксплуатации, или должны быть рассчитаны на основе конкретной схемы клиентского спутникового или наземного канала.

При оценке и измерении таких показателей требуется, понимание применяемой терминологии, типов используемых ошибок, а также диапазона изменения параметров и возможного порядка величин, которые имеют место в типовых расчетах для конкретных сетей. Собственно измерение указанных показателей ошибок в процессе эксплуатации ВОСП в настоящее время значительно упрощено, так как осуществляется в автоматическом режиме большинством систем управления, использующих технологии SDH, WDM

2.3.1. Анализ показателей ошибок и источников их возникновения.

С точки зрения оценки показателей ошибок каналы ВОСП можно разделить:

- по типу тракта - на спутниковые и наземные;
- по скорости - на каналы пх64 (меньшие, чем E1 - первичная скорость PDH, равная 2048 кбит/с) и каналы равные и большие, чем E1 (включая каналы PDH, SDH и режима асинхронной передачи -ATM);
- по используемой технологии на каналы PDH, SDH и ATM;

- по условиям эксплуатации - на долговременные, рассчитанные на длительный период измерения - 30 суток и оперативные, рассчитанные на короткий период измерения: 15 мин, 2 часа, 24 часа (сутки) и 7 суток;
- по методике измерений - на показатели, измеренные при выключенном сервисе (Out of Service - OoS) и без перерыва сервиса (In Service Measurement/Monitoring - ISM).

В соответствии с этим существуют разные группы международных стандартов:

- для спутниковых каналов пх64 кбит/с - ITU-R S.614 [7], E1 и выше - ITU-R S.1062 [6];
- для наземных трактов и каналов пх64 (ниже E1) используется стандарт ITU-T G.821 [3], для каналов E1 и выше - ITU-T G.826, G.827 [4, 13]; для любых скоростей технологии SDH (VC-n и STM-n) - стандарты ITU-T M.2100, M.2101.1 [8,9] .

Данные стандарты определяют методику оценки и предельно допустимые значения параметров ошибки в каналах связи. Причем рекомендации G.821, G.826 и G.828 предусматривают использование долговременных норм, стандарты M.2100, M.2101 и оперативные нормы.

Магистральные каналы связи, о которых идет речь, достаточно протяженные и могут включать сегменты, использующие разные технологии и среды передачи — спутниковые, оптоволоконные, радиорелейные и т.д., формируя так называемые составные каналы. Чтобы вычислить предельно допустимую ошибку в таком канале, нужно знать показатели ошибок для различных сегментов, которые могут определяться по-разному, если сегменты различны по типу, протяженности и используемой технологии. Например, канал 2 Мбит/с может на одном сегменте рассматриваться как триб PDH, а на другом - как триб SDH, передаваемый в потоке STM-N

Рассмотрим типы показателей ошибок и их источник возникновения.

Существует довольно много показателей ошибок, а также составляющих их параметров, которые используются для оценки показателей производительности или качества работы ВОСП. Перечислим следующие показатели и параметры, ошибок стандартные при их регламентации для ОЦК или других типов каналов на сетевых трактах ВОСП.[2.3]

1. BER - коэффициент ошибок по битам - отношение числа принятых с ошибками бит к общему числу посланных бит стандартной псевдослучайной последовательности (ПСП), вычисленное за определенный период времени T. BER-тестер передает стандартную ПСП (длиной в $2^{11}-1$ бит для 64 кбит/с и $2^{15}-1$ бит для 2 Мбит/с) и принимает ее, сравнивая исходную ПСП с принятой. Для BER-тестеров период T - это тестовый интервал длительностью 10 сек.

2. N_{ES} - число секунд с ошибками за указанный период T. Этому числу соответствует эквивалентный нормированный (относительный) показатель $ESR=N_{ES}/T$, причем используются два определения секунд с ошибками - ES, порожденные двумя стандартами: G.821 (ES-ОЦК) и G.826 (ES-E1):

- ES - Errored Second - секунда с ошибками - определяется как:
- ES-ОЦК - период в 1 с, в течение которого наблюдалась хотя бы одна ошибка:
- ES-E1 - период в 1 с, в течение которого наблюдался хотя бы один блок с ошибками или дефект, которые определяются следующим образом:
- EB - Errored Block - блок с ошибками - в котором содержится хотя бы одна ошибка,
- блок - логическая последовательность бит, используемая в процессе мониторинга рабочих характеристик в режиме без отключения сервиса (ISM); длина блока выбирается не произвольно, а в зависимости от используемого кода с обнаружением ошибок, например, для потока E1 длина блока равна 2048 бит, а для эквивалентного ему в SDH виртуального контейнера VC- 12- 1120 бит;

– дефект - характерное изменение рабочих параметров в процессе мониторинга без отключения сервиса.

3. ESR - Error Seconds Ratio - коэффициент ошибок по секундам с ошибками – отношение числа ES к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала времени измерений.

4. N_{SES} - the Number of Severely Errored Seconds (SES) - число секунд с серьезными ошибками, за указанный период T , или эквивалентный ему нормированный (относительный) показатель $SESR=N_{SES}/T$, где:

– SES - Severely Errored Second - секунда с серьезными ошибками, для спецификации которой также используются два определения, порожденные стандартами:

– SES-ОЦК - период в 1 с, в течение которого коэффициент ошибок $BER > 10^{-3}$;

– SES-E1 - период в 1 с, который содержит $> 30\%$ блоков с ошибками EB, или в течение которого наблюдался хотя бы один период с серьезными нарушениями SDP, SDP - Severely Disturbed Period - период с серьезными нарушениями - отрезок сообщения длиной в 4 последовательных блока, в каждом из которых (или в среднем за 4 блока) либо коэффициент ошибок больше или равен 10^{-2} , либо наблюдалась потеря сигнальной информации.

SESR - Severely Errored Seconds Ratio - коэффициент ошибок по секундам с серьезными ошибками - отношение числа SES к числу секунд в период готовности (рассматриваемый как физически непрерывный отрезок времени) в течение фиксированного интервала измерений.

5. N_{BBE} - the Number of Background Block Errors (BBE) - число блоков с фоновыми ошибками, за указанный период T , или эквивалентный нормированный (относительный) показатель $BBER=N_{BBE}/T$, где:

– BBE - Background Block Error - блок с фоновой ошибкой - блок с ошибками, не являющимися частью SES.

6. BBER - Background Block Error Ratio - коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками - отношение числа BBE к общему числу блоков в период готовности течение интервала измерений T.

7. Availability - доступность услуги за указанный период T, в %

8. Unavailability - недоступность услуги - промежуток времени, начинающийся с 10 последовательных SES и заканчивающийся после обнаружения 10 последовательных секунд без SES

9. DM - Degraded Minutes - минуты деградации сигнала - общее число минут, для которых среднее (за минуту) значение BER $< 10^{-6}$ -который регистрируется BER-тестерами.

При тестирований этих показателей нужно иметь в виду следующие ограничения. Период T. указываемый в соглашении должен быть выбран из ряда стандартных величин: 15 мин и 24 часа (сутки), так как только эти интервалы фигурируют в нормах на приемку и техническое обслуживание (ТО) каналов функционирования связи.

Показатель 1 может быть измерен доступными средствами (например, BER-тестерами), и характеризует качество среды передачи. Он, непосредственно не используется как эксплуатационная норма на показатели ошибок для международных соединений. Не существует детерминированной формулы (процедуры) пересчета BER в ES или SES. Вероятностная и приближительная методики пересчета этого показателя в ES и SES приведены ниже. Для ориентации можно считать, что спутниковый участок сетевого тракта считается нормальным, если реализует BER на уровне 10^{-7} - 5×10^{-7} ; нормальный участок абонентской линии на модемах Watson также реализует BER на уровне 10^{-7} - 5×10^{-7} ; нормальный участок ВОЛС с технологией SDH реализует BER не хуже 10^{-9} - 10^{-10} , а с технологией WDM не хуже 10^{-10} - 10^{-12}

Показатели 2, 4, 5 широко используются как в нормах и стандартах, так и указываются в соглашениях. Они адекватно характеризуют качество услуг в канале связи, основаны на понятии "секунд с ошибками", которые можно

измерить не только при выключенном сервисе (QoS), но и непосредственно в процессе работы системы мониторинга. Для оперативных норм измерения проводят в течение интервала T , выбираемого из четырех стандартных значений: 15 мин, 2 часа, сутки или 7 суток. В нормах на приемку и ТО каналов фигурируют, только 15 мин и сутки, которые и рекомендуется указывать в соглашении. В ВОЛС, например в системах SDH и WDM, есть встроенные в систему управления сетью средства контроля секунд с ошибками из ряда описанных выше показателей. Показатели N_{ES} в большей степени отражают единичные ошибки, а не пачки ошибок. Групповые ошибки учитывают параметр N_{SES} - При равном числе ошибок характер их локализации во времени может быть различным.

Измерение без отключения канала часто называют мониторингом, поскольку измерения производятся в режиме работающего канала, а анализатор в этом случае подключается параллельно и осуществляет пассивный мониторинг канала. Алгоритм организации измерений основан на применении различных типов цикловых типов кодов или служебной информации, передаваемой в канале. Методы измерения без отключения канала основаны на идентификации битовой ошибки в некотором блоке переданной информации, поэтому объективная точность измерения ограничена размерами блока. Несомненное преимущество метода – отсутствие необходимости отключения канала – определило широкое его распространение.

В цифровых системах передачи различные воздействия на цифровой канал приводят к снижению основного качественного параметра – параметра ошибки в цифровом канале имеет аналоговую природу, поскольку связаны с интерференцией, затуханием в линии и различными аддитивными шумами.

Основные источники ошибок в цифровом канале являются искажение в канале, наличие импульсных помех, аддитивный шум в канале и затухание в линии. Наличие искажений в канале связано как с затуханием так и

соотражением сигнала. Источником шумов здесь выступают физическое разрушение кабеля, слишком малое поперечное сечение. Вторым важным источником шумов являются импульсные помехи в канале. Источником ошибок здесь могут явиться сливные кабели, наличие сигнализации по постоянному току. Наиболее существенным и многоплановым фактором влияния на параметры цифрового канала является наличие аддитивных шумов различной природы. Четвертым важным источником шумов в цифровых каналах является затухание в кабелях и линиях передачи (высокий уровень затухания, его неравномерная характеристика), которая приводит к появлению субгармоник, вносящих дополнительный аддитивный шум. В цифровой системе передачи, то можно выделяются внутренние и внешние источники ошибок.

К внутренним источникам ошибок относятся: различные нестабильности во внутренних цепях синхронизации цифровых устройств, дрейф в системе внутренней синхронизации устройства; нестабильности, связанные с измерением характеристик компонентов во времени; перекрестные помехи в цепях устройства; нарушения, связанные с неравномерностью АЧХ; повышение порога по шуму:

К внешним источникам ошибок можно отнести различные параметры, воздействующие на цифровой канал: перекрестные помехи в каналах передачи; джиттер в системе передачи; электромагнитная интерференция; вариации питания устройств; импульсные шумы в канале; механические повреждения, воздействие вибрации, плохие контакты; деградация качественных параметров среды передачи (оптического кабеля); глобальные нарушения, связанные с разрушением канала цифровой передачи.

Влияние всех перечисленных источников ошибок и интерференции значительно повышается при снижении параметра отношения сигнал/шум.

Влияние битовых ошибок отличается для различных услуг и систем передач в зависимости от следующих факторов:

- типа передаваемого трафика (голос, данные, видео, мультимедиа и т.д.);
- типа системы передачи, принципа кодирования и наличия цепей резервирования передачи сигнала;
- количества и частоты битовых ошибок.

При передаче сигналов с использованием ВОСП на базе оптического волокна возникают потери по следующим причинам: собственные внутренние потери; потери вызванные примесями; рассеяние Рэлея; потери вызванные несовершенством оптоволокна; дисперсия, межмодовая, хроматическая, поляризационная модовая дисперсия.

2.3.2. Методы оценки показателей ошибок на основе BER

Для оценки параметров ошибок используются две методики оценки показателей:

- первая методика - основана на мониторинге ошибок канала при выключенном сервисе (QoS) и использует псевдослучайную последовательность блоков определенной длины и скорости передачи, измеряемой числом блоков в секунду (на ней основан такой показатель, как BER, измеряемый специальными приборами - BER-тестерами);
- вторая методика - основана на мониторинге ошибок канала при включенном сервисе (ISM) и использует реальную последовательность блоков с длиной блока, зависящей от используемой процедуры обнаружения ошибок, и номинальной скоростью передачи, определяемой сервисом (на ней основаны замеры и вычисления таких показателей, как ES, SES, VBE).

Первой метод дает возможность легко провести тестирование параметров ошибок с использованием доступного и относительно дешевого средства - BER-тестера. Она широко используется на СКС и каналах связи, использующих радиорелейные линии – РРЛ. Однако этот метод практически мало используется для оценки наземных ВОЛС, так как получаемые

значения, например даже $BER \leq 10^{-12}$, с одной стороны, мало что говорят об истинном уровне ошибок в реальном канале связи, который, как правило, состоит из нескольких сегментов, например СКС+РРЛ+ВОЛС+АЛ, с другой - позволяют обеспечить примерно то же потребительское качество канала связи, что и спутниковая система связи (ССС). И это при разнице в величине BER в 5 порядков.

Второй метод дает значительно более реалистичные показатели работоспособности каналов, которые легко мониторяются на ВОЛС, например в системах SDH и WDM, так как они имеют встроенные средства такого мониторинга в системе управления – NMS.

Простой и часто предлагаемый выход - пересчет одних показателей в другие - не работает, так как нет детерминированных функциональных (формульных) соотношений между двумя типами показателей, используемых в этих двух методиках:

- полностью перейти на вторую методику, в том числе и в СССР и РРЛ;
- получить вероятностные соотношения между двумя группами параметров используя модели вероятностных процессов, происходящих при измерениях, и использовать экстраполирование модельных результатов на практические системы путем введения новых вероятностных оценок, отличных от BER.

Рассмотрим возможности второго метода. Суть методики в том, что ошибки контролируют при помощи того же BER-тестера во многих точках, но гистограмму значений BER не усредняют, а формируют на ее основе интегральную функцию распределения $BER(t)$ изначально экспоненциального вида. Затем $BER(t)$ кусочно-линейно аппроксимируют, используя несколько точек. График соединяющий эти точки и соответствует так называемой маске BER.

Если фактическая маска BER, сформированная на основе измеренной гистограммы BER, не превосходит в эталонных точках стандартизованные значения BER (т.е. покрывается эталонной маской), то уровень ошибок в

каналах цифровой передачи удовлетворяет требованиям стандартов G.826/G.821.

Если по такому набору характерных точек построить вероятностную математическую модель процесса BER и провести идентификацию ее параметров по набору соответствующих оценок ES и SES, то можно получить соотношения, связывающие вероятности получения определенных ES и SES по BER и числу бит в блоке, используемом в качестве испытуемого - N_B .

Если такое удастся сделать, то можно предложить:

- во-первых, в будущем ориентироваться на показатели, соответствующие второй методике оценки, оставив показатель BER только для предварительного тестирования канала;
- во-вторых - временно рекомендовать использование многоточечной маски (модели) вероятности битовых ошибок - BER для оценки параметров ошибок СКС и систем с РРЛ, основываясь на методике, предложенной в ITU-R S.1062 (для каналов E1 и выше); или в ITU-R S.614 [7] (для каналов 64 кбит/с).

Используя этот подход, нужно четко представлять, что BER - некая абстрактная (модельная) величина, тогда как BER - реально измеряемый показатель.

Маска BER формируется так, чтобы любой удовлетворяющий ее канал цифровой передачи одновременно удовлетворял и нормам стандарта ITU-T G.826 (для каналов E1 и выше) или стандарта ITU-T G.821 (для каналов 64 кбит/с).

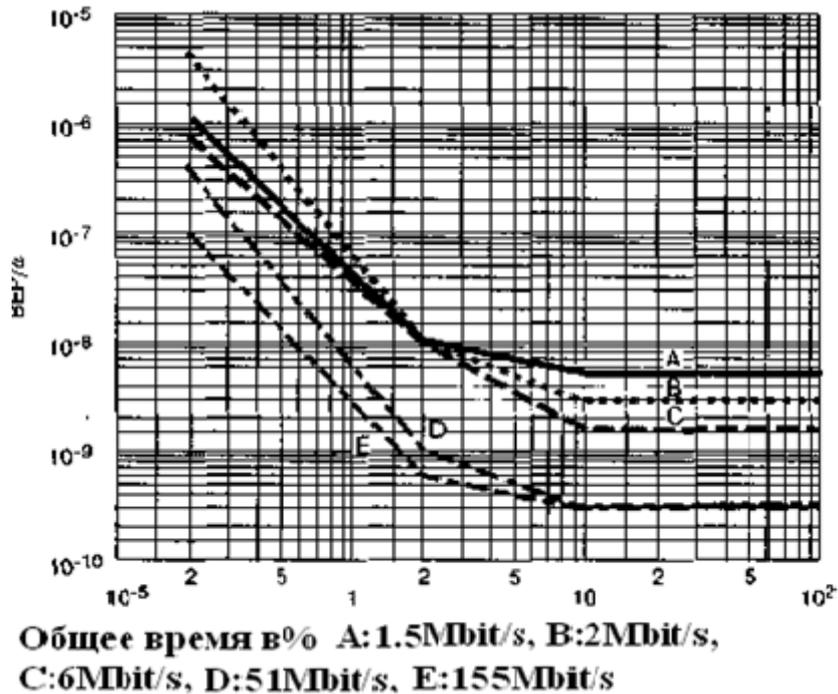


Рис.2.3.Обобщенный вид маске BER

Маска представляет собой некую нормированную функцию $BER/\alpha(T)$, где T - период времени эксплуатации (например, месяц), имеющий наихудшие показатели, а α - параметр ошибок, соответствующий среднему числу ошибок в одном блоке на интервале T . Причем α зависит от статистики ошибок, длины передаваемых CRC-/VIP-блоков, схемы кодирования, относительной скорости кодирования FEC и наличия процедур шифрования (скремблирования). Функция BER/α аппроксимируется по методу кусочно-линейной аппроксимации с тремя (в упрощенном варианте) эталонными точками излома, ограничивающими модельные интервалы времени (полное T - стандартный интервал измерения составляет 100 %): 0,2%; 2,0% и 10% (для $T > 10\%$ линейный сегмент параллелен оси времени), рис. 2.3.

Для расчета BER/α используется определенная (правдоподобная) модель ошибок в рассматриваемом канале. Например характер ошибок спутниковом канале - пакетный, а средняя длина пакета ошибок на длину блока, выбираемого в зависимости от стандартной скорости передачи. Предполагается, что ошибки распределены по закону Пуассона или по

закону Неймана с последствием . Для модели вычисляются вероятности P_{ESi} , P_{SESi} а затем вычисляются величины

$$ESR = \sum \Delta P_{ESi} \Delta t_i; \quad (2.12)$$

$$SESR = \sum P_{SESi} \Delta t_i, \quad (2.13)$$

где суммирование берется по всем модельным интервалам времени. Формула привязки BER/α и указанных показателей (например, для закона Пуассона) может иметь вид, приведенный ниже чисто для иллюстрации, чтобы увидеть связь с CRC - Cyclic Redundancy Check - циклическим избыточным кодом обнаружения ошибок:

$$P_{ES} = (1 - \exp(-nP_{EB})), \quad (2.14)$$

где $P_{EB} = (1 - \exp(-N_B \times BER_{CRC}))$.

n - число стандартных CRC-тестируемых блоков в секунду (например, для E1 это 1000, при длине блока 2048 бит), а $BER_{CRC} = BER/\alpha$.

Маски для потоков на скорости 64 кбит/с и 2 Мбит/с приведены в табл. [2,1]

Таблица 2.1

Скорость, кбит/с	% от общего времени	BER	BER / α , $\alpha=10$
64	0,03	10^{-3}	
	2,0	10^{-6}	
	10,0	10^{-7}	
2048	0,2	$7 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-5}$
	2,0	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
	10,0	$2 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$

Величина BER/ α получена практически идентичной для двух моделей распределения ошибок. Что касается величины α , то ее оценка для потока 2048 кбит/с в соответствии с той же рекомендацией выбрана равной 10 по результатам испытаний лаборатории Intelsat для кодеков с относительной скоростью кодирования 3/4 и скремблированием. Указанные в табл.2.1 значения для 2048 кбит/с получены для стандартного набора параметров ошибок, используемых в ITU-T G.826 для диапазона скоростей 1,5...5 Мбит/с, а именно: ESR = 0,04, SESR = 0,002, VBER = 0,0003/ 0,0002.

Расчеты показывают:

- что указывать в Соглашениях одно значение BER, неправильно; логично приводить заданную таблицей маску с указанными опорными значениями BER;
- полученные в результате суточного мониторинга значения BER нужно распределять по указанным модельным интервалам времени (0,2%, 2,0% и 10%), что в случае суточного теста дает следующее допустимое распределение относительной ошибки BER (при передаче потока E1);
 - не хуже 7×10^{-5} в течение 172,8 с теста;
 - не хуже 2×10^{-7} в течение 1728 с теста;
 - не хуже 2×10^{-8} в течение 8640 с теста;
 - лучше, чем 2×10^{-8} в остальной период времени.

3. вывод о несоответствии испытываемого канала стандартам может быть вынесен только тогда, когда гистограмма фактического распределения параметра BER лежит выше модельного распределения, т.е. когда она не укладывается в соответствующую маску.

Нужно признать, что практически нам более надежными оценками являются показатели ошибок на основе ES и SES.

2.3.3 Процедура расчета показателей ошибок на основе ES и SES

Из вышеизложенного ясно, что основным в оценке показателей ошибок ВОСП должно стать измерение параметра BER, формирование на его основе маски BER и расчет показателей ошибок на основе параметров ES и SES.

Расчет параметров ES и SES и определение на их основе показателей ошибок RPO и BISO осуществляется на основании следующих стандартов:

- для каналов 64 кбит/с и $px64$ кбит/с $< E1$ - по стандарту G.821 и M.2100;
- для каналов $E1$ и $>E1$ - по стандарту G.826 и M.2100 ;
- для каналов PDH в целом - по стандарту M.2100 [8];
- для каналов SDH - расчет по стандарту M.2101.1 []

Из приведенного выше материала следует, что перед расчетом показателей ошибок нужно определить:

- тип канала/тракта (спутниковый или наземный);
- из каких участков состоит данный канал или тракт передачи;
- какая скорость передачи используется на каждом участке;
- какая технология передачи (PDH или SDH) используется на каждом участке;
- для каких типов норм (долговременных или оперативных) рассчитываются показатели;
- для какого интервала времени T рассчитывается указанная норма.

При расчете показателей ошибок исходным является соответствующая относительная величина показателя ошибки ESR, SESR и ВВЕК, выбираемая из таблиц, приведенных в указанных стандартах. Такой таблицей может служить таблица для оперативных норм. Считается, что долговременная (суточная или 7-суточная) норма, вычисляемая в режиме выключенного сервиса с использованием ПСП, является приемлемой для тестирования тракта. Кратковременные (15 мин, 2 часа) оперативные нормы приемлемы для наземных, и в первую очередь международных ВОЛС.

Примечание:

ОЦК, ПЦК/ПЦСТ, ВЦК/ВЦСТ, ТЦК/ТЦСТ и ЧЦК/ЧЦСТ - основной (О), первичный (П), вторичный (В), третичный (Т), четверичный (Ч) цифровой канал (ЦК) или цифровой сетевой тракт (ЦСТ).

Формально процедура вычисления параметров ошибок ES и SES по табл. 2.2 для одного участка достаточно проста:

- долговременная норма: $ES = A_{ESR} \times C \times T$, $SES = A_{SESR} \times C \times T$;

- оперативная норма: $ES = B_{ESR} \times C \times T$, $SES = B_{SESR} \times C \times T$.

Таблица 2.2

Тип канала/тракта	Скорость канала, кбит/с	Долговременные нормы, параметр А			Оперативные нормы, параметр В	
	кбит/с	ESR	SESR	BBER	ESR	SESR
ОЦК	64	0,08	0,002	-	0,04	0,001
ПЦК/ПЦСТ	2048	0,04	0,002	$2(3) \cdot 10^{-4}$	0,02	0,001
ВЦК/ВЦСТ	8448	0,05	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$	0,025	0,001
ТЦК/ТЦСТ	34368	0,075	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$	0,0375	0,001
ЧЦК/ЧЦСТ	139264	0,16	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$	0,08	0,001

Здесь $T=900$ с (15 мин), 7200 с (2 ч), 86400 с (1 сутки), A и B - коэффициенты, в столбцах ES и SES для строк, соответствующих используемой скорости передачи, а C - процент от соответствующей (суммарной) нормы, приходящийся на данный участок тракта.

Хотя формально расчет очень прост, первые сложности начинаются при выяснении того, из каких участков состоит данный канал или тракт передачи и какой процент c_i суммарной нормы приходится на данный конкретный участок. Если таких участков n , то

$$C = \sum_{i=1}^n c_i, \quad (2.15)$$

где $i=1, 2, \dots, n$.

Другая сложность заключается в том, что в общем случае $C = \Delta + \delta(L)$, где Δ - неделимая и не зависящая от L процентная часть (блок), выделяемая для данного участка (например, $\Delta = 15\%$ для спутникового участка), а $\delta(L)$ - процентная часть, зависящая от L .

В отличие от долговременных норм, оперативные нормы могут быть вычислены (например, в системах SDH с помощью систем управления - NMS) по результатам мониторинга в процессе сервисного обслуживания (ISM).

В результате, кроме эталонной нормы показателя качества RPO (Reference Performance Objective), роль которой играет приведенная выше оперативная норма,

$$RPO = B \times C \times T, \quad (2.16)$$

появляется оперативная норма ввода в эксплуатацию

$$BISO = k \times RPO,$$

Эта норма принимается за среднее значение распределения вероятных значений показателей ошибок, для которого вычисляются: дисперсия и доверительный интервал, т.е.

$$\sigma = 2\sqrt{\text{BISO}} \text{ и } [\text{BISO}-\sigma, \text{BISO}+\sigma], \quad (2.17)$$

обозначаемый как $[S_1, S_2]$, где $S_1 = \text{BISO}-\sigma$, а $S_2 = \text{BISO}+\sigma$.

По законам статистики оценка показателя считается состоятельной, если она укладывается в доверительный интервал $[S_1, S_2]$. Здесь рекомендует:

- считать тракт условно принятым в эксплуатацию, если $[S_1, S_2]$,
- считать тракт принятым в эксплуатацию, если $S < S_1$,
- считать тракт не принятым в эксплуатацию, если $S > S_2$.

В табл.2.3 приведены соответствующие значения оперативных норм и пороговых значений показателей ошибок S_1 и S_2 для канала ОЦК (64 кбит/с) при суточном измерении для различных типов цифровых сетевых трактов и процентных блоков участков (стандарта М.2100).

Таблица 2.3

Тип канала или линии	Блок	ES			SES			BER (справочной)
	%	S_1	BISO	S_2	S_1	BISO	S_2	
Спутниковый канал	15%	227	259	291	1	6	2	$<2,6*10^{-6}$
Абонентская линия	15%	227	259	291	1	6	2	$<2,6*10^{-6}$
Местная первичная сеть	7,5%	107	130	152	0	3	7	$<1,3*10^{-6}$
Внутризоновая первичная сеть	7,5%	107	130	152	0	3	7	$<1,3*10^{-6}$
Магистральная первичная сеть	20%	308	346	383	3	9	5	$<3,5*10^{-6}$

Таблица 2.4

Тип канала или линии	Блок,	ES			SES		
	%	S_1	ISO	S_2	S_1	ISO	S_2
Спутниковый канал	15%	107	30	152	1	6	12
Абонентская линия	15%	107	30	152	1	6	12
Местная первичная сеть	7,5%	49	5	81	0	3	7
Внутризоновая первичная сеть	7,5%	49	5	81	0	3	7
Магистральная первичная сеть	20%	147	73	199	3	9	5

В табл.2.4. приведены соответствующие значения оперативных норм и пороговых значений показателей ошибок S_1 и S_2 для канала ПЦК (2048 кбит/с) при суточном измерении для различных типов цифровых сетевых трактов и процентных блоков участков (стандарта М.2100) .

Мониторинг показателей ошибок в реальных системах

Современные системы управления транспортными сетями (используемы в сетях SDH-WDM), на уровне сетевых менеджеров, автоматически вычисляют указанные выше показатели ошибок для периода $T=15$ мин и 24 часа и хранят статистику этих ошибок.

Это значительно облегчает не только контроль уровня ошибок, но и регистрацию факта превышения пороговых значений ошибок, заданных при конфигурации системы. Что не менее важно, это позволяет обслуживающему персоналу реально видеть, какой уровень ошибок соответствует состоянию нормальной эксплуатации и какой - той или иной аварийной ситуации.

Например, система управления сетями SDH eNM-XDM компании ECI позволяет устанавливать пороги и отслеживать их превышение для 12

показателей ошибок, из которых 9 соответствуют обсуждаемым нами показателям:

- BBENE/BBEFE - число блоков с фоновыми ошибками на ближнем (BBENE) и дальнем (BBEFE) концах;
- ESNE/ESFE - число секунд с ошибками на ближнем (ESNE) и дальнем (ESFE) концах;
- OFS - число секунд, содержащих сигнал OOF(сигнал выхода за границы фрейма SDH, или сигнал потери синхронизации, формируемый после прихода нескольких последовательных фреймов с нарушениями в структуре шаблона синхронизации);
- SESNE/SESFE - число секунд с серьезными ошибками на ближнем (SESNE) и дальнем (SESFE) концах;
- UASNE/UASFE - число недоступных секунд с ошибками на ближнем (UASNE) и дальнем (UASFE) концах.

Пороговые уровни (нижний и верхний) могут устанавливаться по результатам расчетов показателей качества (или на основе анализа предыдущей статистики) для соответствующих объектов передачи, которыми могут быть: трибы PDH (2/34/140 Мбит/с), виртуальные контейнеры: VC-12/3/4, мультиплексная MS и регенерационная RS секции.

Если уровни не заданы при конфигурации, то они устанавливаются производителем по умолчанию. Эта ситуация должна контролироваться, так как параметры по умолчанию могут быть причиной искажения статистики, если их номинальные значения существенно отличаются от тех, что были получены для конкретного канала передачи в результате расчета.

Выводы

1. Разработанные научно-методологические аспекты построения систем мониторинга волоконно-оптических сетей телекоммуникации является основой проводимых исследований.

2. В системе мониторинга показателей качества функционирования ВОТС должны быть учтены все дестабилизирующие факторы ухудшающие передачу информации в системе передачи.

3. Организация непрерывного контроля ВОЛТ должна основываться на использовании информационно – измерительных систем (ИИС).

4. Структура построения ИИС должна соответствовать изложенным в работе требованиям.

5. Мониторинг должен контролировать основные типы ошибок ES,SES,BBE и при этом использовать методы, процедуры и оценки показателей ошибок на основе BER и маски BER.

6. В системе мониторинга необходимо в основном использовать вторую методику основанную на контроле и оценки ошибок канала при включенном сервисе с использованием реальной последовательности передаваемых блоков, зависящей от используемой процедуре обнаружения ошибок и номинальной скорости передачи.

3. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОСП И НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ВОЛС.

3.1 Методы контроля среды передачи волоконно-оптических сети

По мере развития волоконно-оптической технологии телекоммуникаций и интенсивного применения методов мультиплексирования каналов возникает необходимость дальнейшего совершенствования OTDR для работы с сетями, имеющими очень сложную структуру. Рассмотрим эффективный метод анализа, обнаружения и устранения неисправностей на сети путем сравнения реально полученных OTDR данных с информацией, полученной в результате машинного моделирования OTDR измерений.

В настоящее время OTDR являются основными измерительными приборами, используемыми для инсталляции и технического обслуживания линий передачи со структурой “точка-точка”, так как они обеспечивают телекоммуникационным операторам следующие возможности:

- измерение только с одного конца оптического кабеля;
- обнаружение нарушений и определение параметров компонентов ВОЛС по всей длине волокна;
- наглядное представление состояния линии связи.

В связи с этим естественным желанием является использование OTDR и в разветвленных сетях. Однако в этом случае при проведении анализа нескольких каналов результаты измерений становятся слишком сложными для интерпретации и для этого необходима особая процедура тестирования. Для упрощения данной процедуры, используются методы тестирования многоточечных сетей, основанные на поочередном подключении волокон к OTDR через управляемый коммутатор (оптический переключатель), сводя тестирование многоточечных сетей, к тестированию по схеме “точка-точка”.

Очевидно, последнее связано с введением дополнительных компонентов в систему контроля, что естественно удорожает ее.

Таким образом следует различать методы:

- одновременного тестирования волокон многоточечных сетей;
- разновременного тестирования волокон многоточечных сетей по свободному ("темному") волокну;
- по активному волокну.
- Рассмотрим данные методы более подробно.

Метод одновременного тестирования оптических волокон в многоточечных сетях. Сложность одновременного тестирования многоточечных сетей обусловлена сложностью анализа сигнала обратного рассеяния на мультиплексорах (коммутаторах) сигналов распределительных сетей. На рис. 3.1. представлена рефлектограмма, полученная при помощи OTDR для восьми входного мультиплексора, подключенного к волокнам различной длины. В результате анализа данной рефлектограммы можно выделить два типа ослабления многоканального сигнала обратного отражения, первый из которых, a_c , располагается в месте нахождения мультиплексора, а другой, a_{FEi} , появляется в точке, где заканчивается i — ее ответвление волокна (это соответствует концу самого волокна). Эти ослабления определяются параметрами волокна, в частности, коэффициентом обратного рассеяния, а также прямыми и обратными потерями вставки мультиплексора. Для упрощения анализа необходимо принять несколько положений:

- различные кабели, присоединенные к мультиплексору, имеют идентичные характеристики, т. е. их коэффициенты обратного рассеяния и ослабления равны;
- имеет место симметричное двунаправленное протекание процесса мультиплексирования — демultipлексирования, т. е. мультиплексор имеет одни и те же характеристики при работе в обоих направлениях.

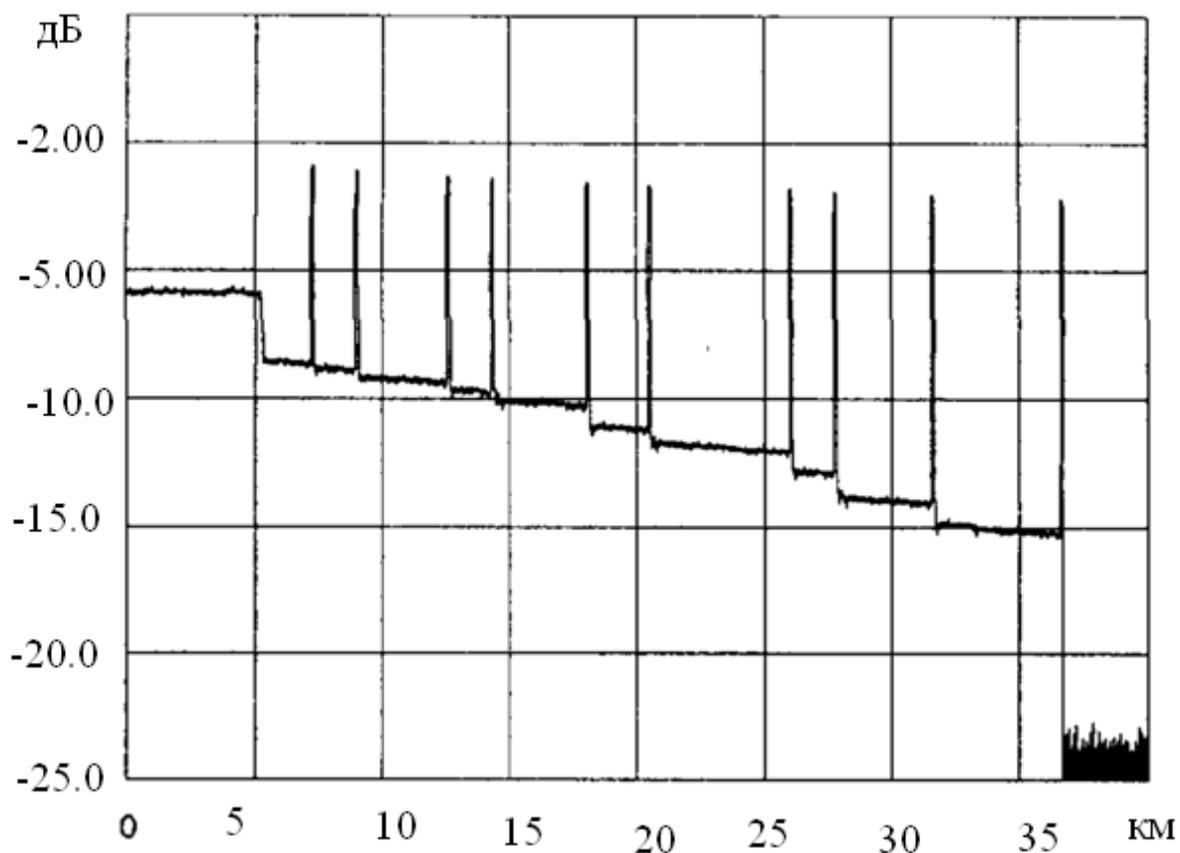


Рис.3.1. Результат тестирования сети с участком мультиплексирования

Учитывая принятые допущения, значения ослабления в месте установки мультиплексора можно определить, используя выражения [2.3]:

$$a_c = 5 \log(m) + a_{\text{доп}} \quad (3.1)$$

$$a_{FEi} = 5 \log((m-i+1)/(m-i)), \quad (3.2)$$

где $\alpha_{\text{доп}}$ и m — избыточные потери и количество выходов ответвителя; i — номер анализируемого ответвления.

В этом случае метод тестирования включает этапы обучения, анализа и идентификации оптического волокна.

Первый этап основан на имитации оптической сети с помощью OTDR и может быть использован для моделирования измерений, как на одноканальных, так и многоканальных сетях связи. В дополнение к стандартному

моделированию оптических волокон, коннекторов, сращиваний и аттенуаторов алгоритмы программного обеспечения позволяют синтезировать $n \times m$ мультиплексоры на основе приведенных выражений для расчета ослабления a_c и a_{FEI} .

В связи с этим первый этап включает:

- моделирование измерений, проводимых с помощью OTDR, в результате которого получают рефлектограмму и соответствующие ей данные;
- проведение измерений в реальных полевых условиях, в результате которых также получают рефлектограмму и соответствующие ей данные;
- сравнение полученных результатов и сохранение данных.

На первом этапе получают схему контролируемых участков сети с указанием точек данных рефлектограммы а также список отражательных и неотражательных событий.

Второй этап проводится в условиях инсталляции, мониторинга или технического обслуживания сети, а именно:

- в процессе мониторинга, если система обнаруживает отклонения полученной рефлектограммы от эталонной;
- при прохождении трафика, если обнаруживаются неисправности сети и возникает необходимость установления их местонахождения и оценки серьезности нарушений.

В обоих случаях метод заключается в сравнении текущей и опорной рефлектограмм.

На третьем этапе проводится сравнение имеющих место событий, включающих:

- затухание или ослабление отражения Френеля при отклонении отражательного события на конце оптического волокна (рис. 3.2), которые позволяют напрямую идентифицировать связанное с этим событием ответвление волокна;

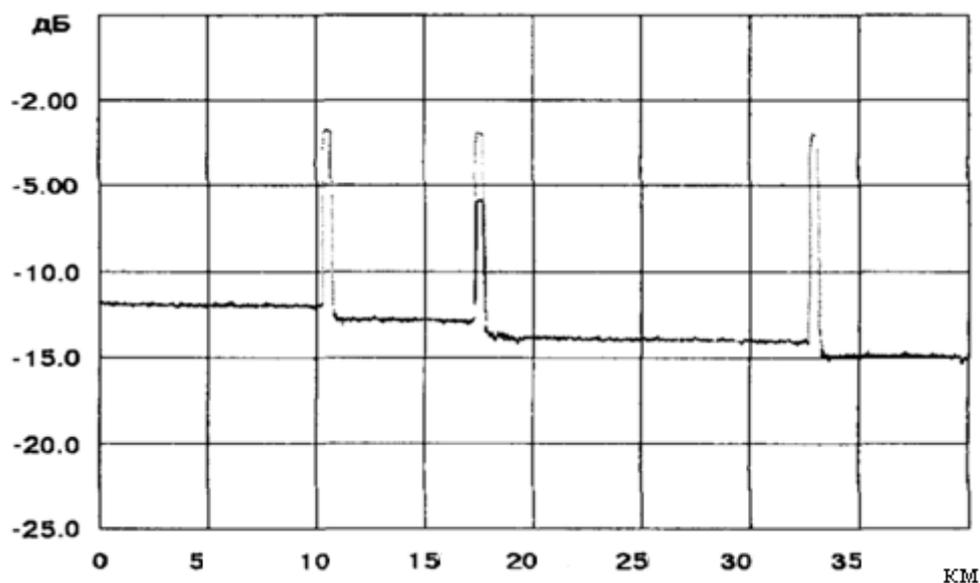


Рис. 3.3. Идентификация волокна по отражению Френеля

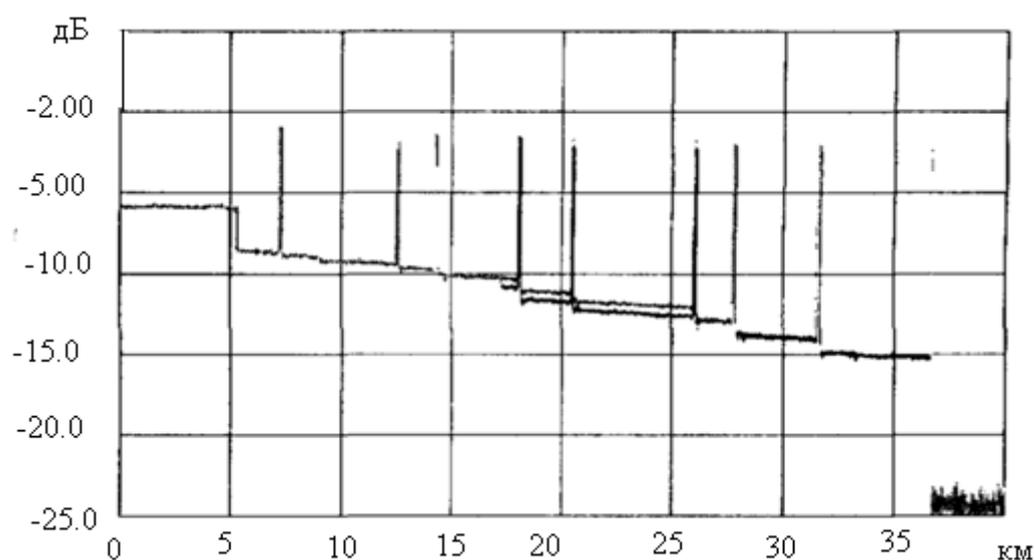


Рис. 3.4. Идентификация волокна по ослаблению отражения

– отклонение значения ослабления на участке волокна (рис. 3.3), позволяющее определить волокно, которое заканчивается на том же самом расстоянии, на котором имеющее место отклонение исчезает.

После выявления отклонения текущей рефлектограммы от эталонной, определяется местонахождение неисправности и производится ее идентификация.

Оценка ложного ослабления. Ввиду смещения множества каналов могут иметь место ложные ослабления, поэтому изменение ослабления не всегда можно определить напрямую (рис.3.4). В этом случае, для идентификации неисправности используется моделирование сети с введенным в соответствующий канал виртуальным аттенуатором, увеличивая его ослабление до такого уровня, при котором будет иметь место адекватное отклонение эталонной рефлектограммы. Последующий анализ результата моделирования позволяет установить является ли полученное ослабление ложным.

Необходимо отметить степень их точности измерения и имеющиеся ограничения. Очевидно, что основным источником ошибок является адекватность используемых моделей и погрешности ввода данных. При проведении измерений на пассивных оптических сетях с высоким уровнем мультиплексирования следует учитывать, что уровень обратного рассеяния зависит от местонахождения неисправности по отношению к концам волокон. Если сеть имеет множество ветвлений, динамический диапазон OTDR может быть недостаточным для получения кривой обратного рассеяния по всей длине соединения. Если сеть не имеет ответвлений со сходными интервалами, тогда OTDR может не обнаружить различные события и ответвления. При этом необходимо использовать другие методы.

Метод одновременного тестирования оптических волокон в многоточечных сетях. Основание на классическом OTDR измерении соединения точка-точка сформированного соответствующей коммутацией оптических переключателей. Поэтому пользователю доступны все функции, обеспечиваемые рефлектометром, мониторинг фактически является работой с OTDR в режиме дистанционного управления, что позволяет обрабатывать, анализировать и производить измерения, имея в своем распоряжении широкие возможности выделения и идентификации отклонений текущей рефлектограммы относительно эталонной. При этом в качестве эталонной

рефлектограммы может служить как рефлектограмма полученная на стадии инсталляции, так и рефлектограмма полученная ранее в процессе эксплуатации системы. Не усложняя процедуры обработки рефлектограмм, обеспечивая более высокую точность идентификации нарушений оптических волокон, данный метод тестирования позволяет использовать все функции OTDR измерений, включая:

- измерения потерь, отражений и расстояний;
- управление маскированием измерений;
- автоматическое измерение с обнаружением порогов, полуавтоматическое измерение с маркерами, ручное измерение с курсорами;
- локализацию случаев нарушений соединений, отражений и обнаружение конца волокна;
- автоматическое обнаружение призрака.

Технические характеристики мониторинг в этом случае определяются параметрами используемого OTDR, в частности, его динамическим диапазоном и разрешающей способностью, а организация собственно тестирования, зависит от того, проводится ли тестирование по пассивным или по активным волокнам.

3.2. Тестирование BER, пассивных и активных оптических волокон.

В цифровых сетях одним из наиболее важных параметров качества обслуживания (QoS) является BER. При передаче цифрового трафика по ВОЛТ единственная возможность измерить BER - использовать электрический эквивалент светового сигнала. Здесь, первым шагом в осуществлении тестирования BER является формирование электрического эквивалента светового сигнала путем использования детектора света в приемнике.

Сначала мы рассмотрим BER-тест без использования светового оборудования. Электрический сигнал может иметь форму сигнала сети SONET/ SDH или PDH. В этом случае лучше использовать поток E1 так как в качестве этого потока может быть взят сервисный поток, этот же тип потока генерируется и BER-тестерами - 2048 кбит/с. В общем случае для теста используется псевдослучайная двоичная последовательность. Если мы разорвем участок тестируемой сети и выведем некую последовательность бит, то она будет выглядеть как случайная последовательность. Можно показать, что использование случайного потока бит является наиболее надежным методом тестирования BER.

При тестировании на удаленном конце с использованием E1 выхода мультиплексора можно применить петлю. Ее организация состоит в том, что мы берем демультиплексированный поток бит с выходного порта канала E1 и подаем его во входной порт канала E1 мультиплексора, передающего поток в обратном направлении. Эта процедура показана на рис. 3.5.

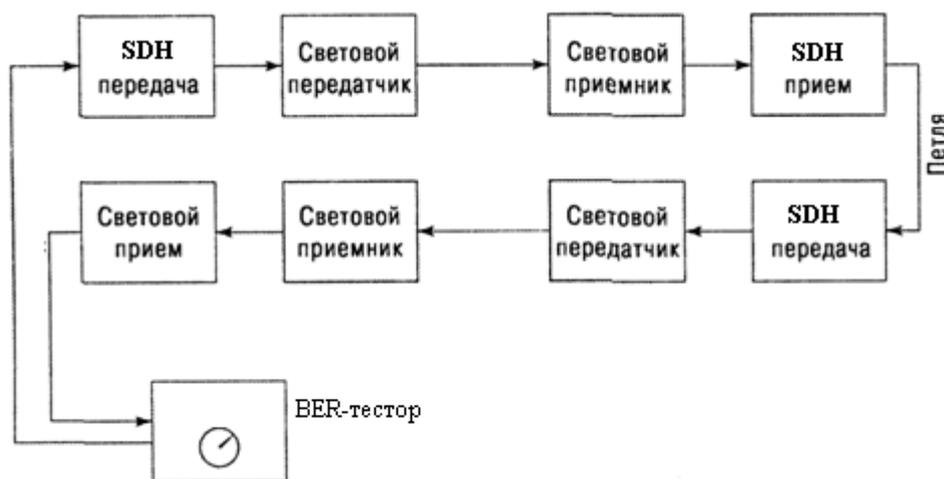


Рис. 3.5. Схема организации тестирования BER с применением петли (на удаленном конце).

Канал приема, при использовании мультиплексора на ближнем конце линии, должен принять двоичный поток, на котором осуществляется замер BER. При условии что на линии при тестировании не должно быть сбоев. Выход демультиплексора приемного канала соединен непосредственно с оборудованием тестирования BER, и показания BER-тестера считываются и записываются. Предполагая, что линия работает нормально, заметим, что существуют ряд показателей работоспособности системы, которые могут влиять на BER: выходная мощность передатчика; установка порога приемника на удаленном конце; установка выходной мощности передатчика на удаленном конце; установка порога приемника на ближнем конце; параметры регенератора, если он используется на тестируемой линии; параметры оптических усилителей, если они используются на тестируемой линии.

Какой уровень BER требуется в соответствии со спецификацией линии? Где он будет измеряться? Пороги приемников устанавливаются в соответствии с значением. Установленным спецификацией которые сравниваются с значениями, используемыми в бюджете линии. Уровень BER должен быть где-то в районе 10^{-10} или 10^{-12} . Высокоскоростные линии, (скорости 10 и 40 Гбит/с), требуют лучших значений BER, скажем на уровне 10^{-15} . Необходимо тестирование BER и вам требуется уровень BER порядка 10^{-15} , спросите себя: «Сколько я должен ждать (исходя из статистики) до момента появления первой ошибки?» Допустим, что скорость на линии 1 Мбит/с и требуемый уровень BER – 10^{-12} . Тогда ответ в секундах будет: $(1/\text{BER})/\text{Bit rate [c]}$ или $10^{12}/10^6 = 10^6$ с. Это соответствует 277 часам ($10^6/60/60=277$) или 11,57 дням. Для измерения BER обычно используется псевдослучайный сигнал со скоростью 2,048 Мбит/с, что дает 5,657 дня. Для тестирования цифровых систем стандартами ITU-T предусмотрены интервалы: 12 часов, 1 сутки и 7 суток. Для оборудования со скоростями 10 Гбит/с, BER устанавливается на уровне не лучше 10^{-12} .

В случае, если линия несет несколько световых каналов (WDM) каждый канал должен измеряться идентично. При этом разница в уровне каналов не должна быть больше 2 дБ.

Так как BERT — это электрический тест то нужно использовать детектор света, чтобы перевести сигнал из оптической в электрическую область. Другие процедуры позволяют использовать собственный приемник линии. Это обязательно нужно для контроля окончательного значения BER линии.

Контроль ОК по пассивным оптическим волокнам основан на тестировании резервного волокна оптического кабеля (рис. 3.6.) при длине волны $\lambda_{\text{траф}}$ оптического луча трафика, независимой от длины волны $\lambda_{\text{тест}}$ тестирующего оптического излучения.



Рис 3.6. Метод контроля оптического кабеля по резервному волокну.

Применение данного метода при своей очевидности и простоте реализации обуславливает необходимость дублирования инфраструктуры контроля гипотетического волокна, отражающего свойства всего кабеля и позволяет выявить до 90% его нарушений.

На рис. 3.7 показана схема организации контроля ОК по пассивным оптическим волокнам, где TX и RX, соответственно передающее и приемное сетевые устройства, RTU — устройство удаленного контроля оптических волокон, а ОТАУ - оптический переключатель, обеспечивающий доступ к контролируемым волокнам.

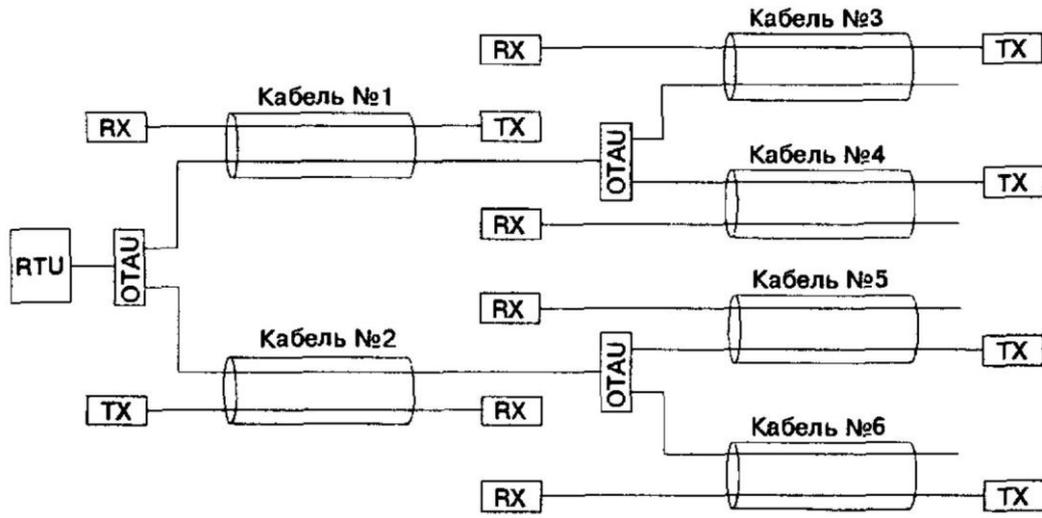


Рис 3.7. Схема организации контроля оптических кабелей по резервному волокну.

Значение времени T , необходимого для контроля N кабелей контролируемой зоны сети, в данном случае равно

$$T = \frac{\sum_i \tau_i}{r} \quad (3.1.)$$

где r — число рефлектометров; t_i — значение времени тестирования i -ого кабеля: $i = 1.2.3 \dots \dots N$.

Рассмотрим варианты тестирования по активным оптическим волокнам. Для передачи данных в ВОЛС обычно применяются 1310 нм или 1550 нм длины волн оптического излучения. Следовательно, для контроля состояния волокон было бы целесообразным использовать $\lambda_{\text{тест}} = 1550$ нм при

длине волны $\lambda_{\text{траф}} = 1310$ нм, или $\lambda_{\text{тест}} = 1310$ нм — при передаче на длине волны $\lambda_{\text{траф}} = 1550$ нм. В то же время по экономическим соображениям, вызванным необходимостью увеличения емкости каналов передачи данных, часто используются обе указанные длины волн $\lambda_{\text{траф1}} = 1310$ нм и $\lambda_{\text{траф2}} = 1550$ нм. В последнем случае для контроля необходимо использовать иную длину волны, например, $\lambda_{\text{тест}} = 1625$ нм, которая значительно отличается от используемых для передачи данных и, как следствие, может быть эффективно выделена на приемной стороне линии связи.

С этой целью на передающей стороне ВОЛС (рис. 3.8.) вводятся сажать с WDM, объединяющие длину волны тестирующего излучения с длиной волны передачи данных сетевым оборудованием NE, а для

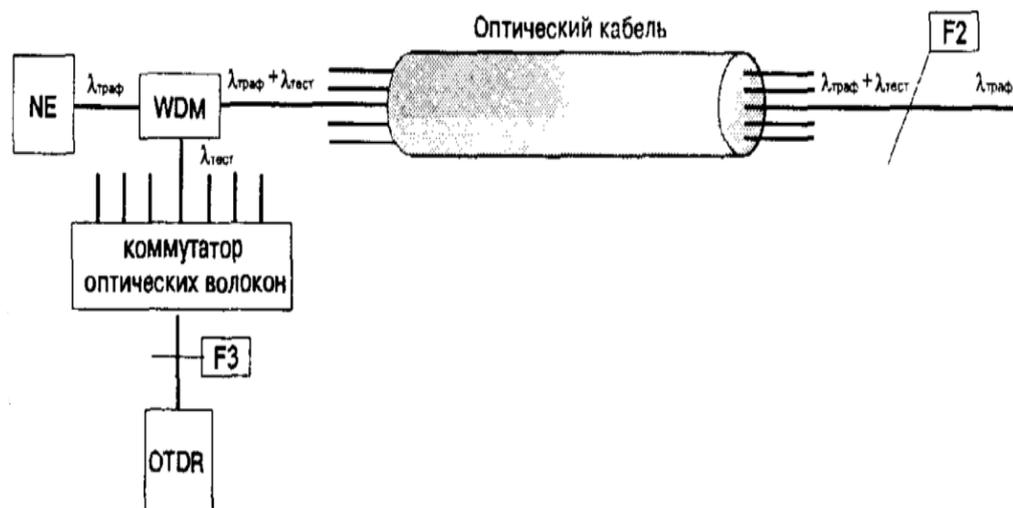


Рис.3.8. Метод контроля оптического кабеля по активному волокну исключения взаимного влияния процессов передачи данных и контроля оптического волокна в схему вводятся фильтры F2 и F3. Последние предотвращают попадание тестирующего излучения на входы NE, а излучения передачи данных — на OTDR. Схема организации контроля по активным волокнам в этом случае имеет вид, представленный на рис. 3.9.

количества длин волн оптического излучения, распространяющегося по волокну и предусматривает применение мультиплексоров по длине волны — WDM. При таком решении одна длина волны может использоваться для тестирования волокна, а остальные — для передачи данных. Схема организации контроля оптических кабелей по активным оптическим волокнам с передачей данных на двух волнах - 1310 нм и 1550 нм и тестировании на 1625 нм приведена на рис. 3.10. На этой схеме LPF и SPF представляют собой оптические фильтры длинных и коротких волн, соответственно нижних и верхних частот, а OS — оптический коммутатор, обеспечивающий необходимую последовательность подключения оптических волокон к RTU.

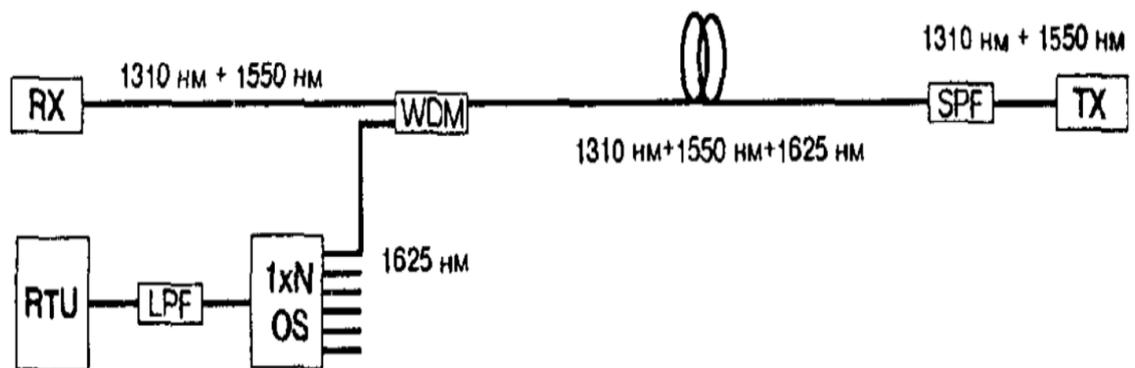


Рис. 3.10. Схема организации контроля оптических кабелей по активному волокну с передачей данных на двух длинах волн.

При наличии в ВОЛС регенерационных участков, а также в случае необходимости исключения оборудования на этапе контроля должен быть предусмотрен обход данных участков, который осуществляется согласно рис. 3.11 и рис. 3.12.

Учитывая вышеизложенное, можно привести выражение для расчета времени T тестирования контролируемой зоны сети с активными волокнами:

$$T = \frac{\sum_i m_i \tau_i}{r} \quad (3.2)$$

где m_i — количество волокон в i -ом кабеле; τ_i — время тестирования одного волокна кабеля; i — номер тестируемого кабеля.

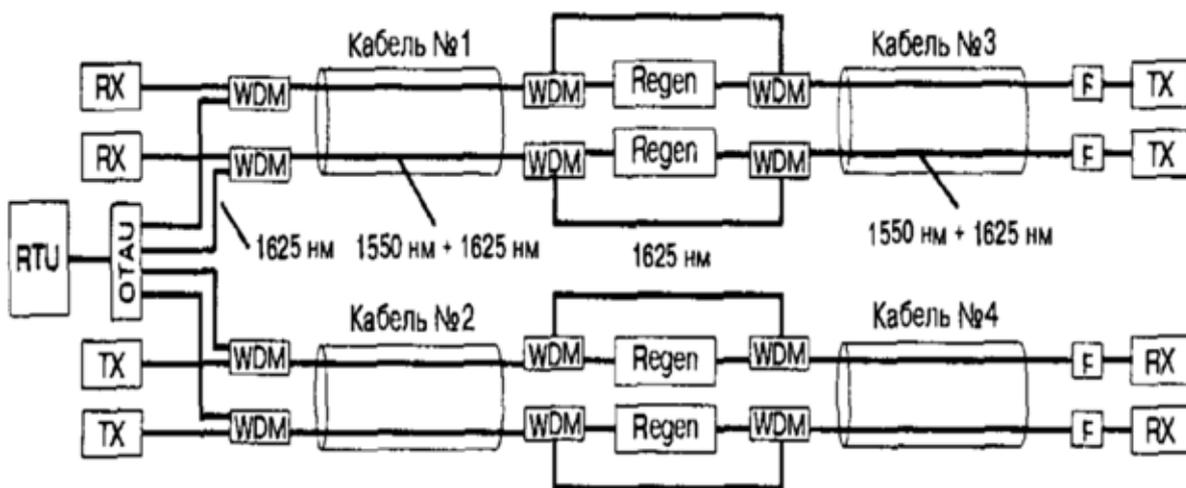


Рис. 3.11. Схема организации обхода регенерационных участков при контроле оптических кабелей по активному волокну

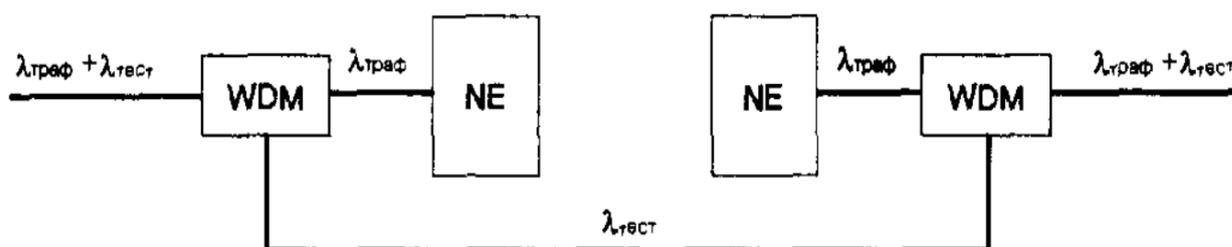


Рис. 3.12. Схема организации обхода оборудования при контроле оптических кабелей по активному волокну.

По сравнению с рассмотренным выше методом контроля оптических кабелей по пассивному волокну, метод контроля по активному волокну дает практически 100%-ную гарантию обнаружения неисправностей кабеля и

отличается более высокой стоимостью реализации из-за введения в линию связи WDM и F. Поэтому применение последнего метода оказывается целесообразным для тестирования ответственных волокон или в том случае, когда для передачи данных используются все волокна кабеля.

Основные требования к параметрам OTDR

Возможности системы контроля в значительной степени определяются параметрами OTDR, что требует рассмотрения основных характеристик OTDR исходя из требований измерений.

Динамический диапазон измерений

Динамический диапазон измерений является основной характеристикой рефлектометра, так как он определяет максимальную наблюдаемую длину оптического волокна. Учитывая, что данный параметр не имеет однозначной интерпретации, а мощность световой волны изменяется в связи с затуханием и числовой апертурой волокна, лучше определить значение, которое не зависит от параметров волокна. С этой целью следует пользоваться выражением (3.3),

(3.3)

где P_0 и $P_{\text{мин}}$ — значение мощности в момент времени $t = 0$ и $t > t_0$, соответственно; t_0 — длительность мертвой зоны.

Разрешающая способность

По обратному рассеянию. Ввиду преобразований входного сигнала разрешающую способность измерения достаточно сложно определить. Фактически, если определять разрешающую способность в дБ, то это значение будет зависеть от уровня сигнала в отметке, где могут быть различимы два близлежащих нарушения волокна

$$\Delta l = \frac{c}{2n} \sqrt{(\Delta t)^2 + \left(\frac{l}{\Delta f}\right)^2} \quad (3.4)$$

По локализации неисправности. С энергетической точки зрения отраженная мощность p является функцией длительности импульса τ , т. е. чем больше значение τ , тем выше уровень p и, следовательно, шире динамический диапазон. В то же время, разрешающая способность также является функцией τ и может быть представлена в виде:

$$\Delta l = \frac{c}{2n} \tau \quad (3.5)$$

Поэтому длительность импульса нельзя беспреступно увеличивать, так как при этом будет расти Δl , что, естественно, ограничит возможность выделения двух близлежащих нарушений в волокне. Так, при $\tau = 100$ нс, разрешающая способность OTDR равна $\Delta l = 10$ м, что позволяет лишь утверждать, что различимая мощность отраженной волны находится в пределах Δl и не точнее. Следует отметить, что дифференциальное модальное изменение коэффициента распространения изменяет форму импульса и нарушает значение Δl .

Точность. Ввиду того, что основной задачей удаленного контроля оптических кабелей является установление точного местоположения неисправности волокна, наиболее жесткие требования предъявляются к так называемой точности OTDR по расстоянию (Total Distance Accuracy), которая может быть определена в соответствии с выражением

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 * L + \Delta_3, \quad (3.6)$$

где Δ_1 — ошибка смещения (offset error); Δ_2 - ошибка масштабирования (scale error); Δ_3 - ошибка дискретизации (sampling error); L -дистанция (измеряемое расстояние).

3.3. Мониторинг несанкционированного доступа к ВОЛС

Волоконно-оптические кабели (ВОК) в настоящее время считаются самой совершенной и перспективной средой для передачи высокоскоростных информационных потоков на значительные расстояния. В этой связи все большую актуальность приобретает задача выявления и нейтрализации несанкционированного доступа (НСД) к ВОК, которая на практике решается применением систем мониторинга волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) на базе средств оптической рефлектометрии.

Принципиальным моментом в направлении построения систем мониторинга НСД ВОЛС является ответ на вопрос: Существует или нет корректное решение задачи гарантированного обнаружения несанкционированного доступа к рабочему волокну ВОЛС в условиях априоритетной неопределенности относительно знания методов и средств НСД при известных технических параметрах средств мониторинга?

3.3.1. Аспекты защищенности ВОЛС от несанкционированного доступа и задачи рефлектометрического мониторинга.

Считается, что волоконно-оптические линии связи обеспечивают максимальную защищенность от средств несанкционированного доступа к кабельным линиям связи. Можно выделить ряд особенностей, способствующих данному обстоятельству:

– относительно высокая эффективность мониторинга ВОЛС на базе оптической рефлектометрии, являющаяся следствием малых погонных потерь [дБ/км] при распространении оптических сигналов в волокне;

- сложность доступа к световоду при разделке оптического кабеля с сохранением целостности оптических волокон (ОВ);
- относительно малые габариты световодов (внешний диаметр оболочки из кварцевого стекла стандартного волокна равен 125 мкм);
- технологические проблемы доступа к сердцевине ОВ, обусловленные трудностями механической обработки или химического травления кварцевого стекла.

Относительно короткие длины волн оптических сигналов позволяют минимизировать габариты оптических волноводов, что серьезно усложняет технологический процесс сопряжения технических средств НСД с рабочим волокном из-за прецизионных требований к точности подобного сопряжения. Потенциально наибольшую защищенность трафика ВОЛС от НСД обеспечивает одномодовое ОВ, в котором реализуется максимум удаленности поверхности цилиндрического волокна от «энергетически насыщенной» сердцевины при экспоненциальном характере спада поля фундаментальной моды оптического излучения в радиальном направлении, начиная от границы раздела сердцевина-оболочка. При отсутствии изгибов ОВ несанкционированный объем оптических сигналов в типовом волокне за пределами его внешнего диаметра по энергетическим соображениям практически исключен, поскольку поле моды в радиальном направлении при $r \geq 25$ мкм ничтожно мало. В этом случае несанкционированный доступ к трафику ВОЛС в одномодовом волокне с большим запасом невозможен даже при использовании идеального оптического приемника НСД с чувствительностью на входе, соответствующей квантовому пределу. Изгиб ОВ, как известно, позволяет в той или иной мере нарушить симметрию поля моды относительно продольной оси, сдвигая его в радиальном направлении. Это позволяет увеличить уровень поля моды с внешней стороны изгиба волокна, а также приводит к частичным потерям на излучение оптических

сигналов, поскольку фронт собственной волны волновода при изгибе начинает двигаться быстрее, чем плоская волна в свободном пространстве.

Поэтому НСД, основанный на изгибе ОВ, является одним из наиболее простых и распространенных способов доступа к оптическим сигналам ВОЛС, хотя и имеет относительно низкий к.п.д. энергетического объема. При изгибном методе, помимо сигнальных потерь на излучение, имеются потери, обусловленные наличием двух зон перехода прямолинейного участка волокна (бесконечный радиус изгиба) в конкретный изгиб ($R_{изг} \neq \alpha$) которые аналогичны по физической сути оптическим потерям, при сварке двух идентичных оптических волокон в случае нарушении и безопасности. Данные потери являются следствием отмеченного выше нарушения симметрии поля основной моды ОВ относительно оси сердцевины

Методы несанкционированного доступа к прямолинейному (без изгибов) рабочему волокну, как правило, базируются на существенно более сложных технологиях, обеспечивающих минимизацию дистанции оптического взаимодействия с полем моды рабочего волокна в радиальном направлении с очевидной целью повышения отношения сигнал шум на входе приемника НСД. Подобные методы обычно основаны на физических принципах, используемых при изготовлении оптических разветвителей. В типовых волоконных разветвителях период биений взаимодействия оптически связанных волноводов (световодов) существенно зависит от расстояния между их продольными осями симметрии. Поэтому данных технология включает в себя частичное снятие оболочки с сопрягаемых волокон и последующую их термическую вытяжку, что позволяет минимизировать расстояние между центрами ОВ.

Укрупненная схема подключения к рабочему волокну рефлектометра (OTDR) системы мониторинга, передающего и приемного модулей ВОЛС, а также, приемного тракта системы НСД приведена на рис.3.7. В рассматриваемом контексте основной стратегической задачей

рефлектометрического мониторинга является обнаружение и локализация оптических потерь в рабочем волокне ВОЛС, вызванных ответвлением средствами НСД части оптического излучения информационного потока (трафика). Рассматривается импульсный рефлектометр на основе обратного релеевского рассеяния оптического излучения, обладающий в настоящее время максимальным динамическим диапазоном при обнаружении, и локализации оптических потерь в ОВ.

Основными характеристиками рефлектометра являются чувствительность и пространственное разрешение. Чувствительность рефлектометра принято характеризовать величиной его динамического диапазона, а пространственное разрешение длительностью импульса и шириной мертвой зоны. Максимальный динамический диапазон $D_{\text{макс}}$ рефлектометра, реализуется при наибольшей задаваемой оператором длительности излучаемых в ОВ импульсов и максимальном времени осреднения принимаемых импульсов. Типовое значение параметра $D_{\text{макс}}$ для современных рефлектометров приблизительно находится в интервале 40...45 дБ. Теоретический предел при типовых значениях длительности импульсов и времени их осреднения равен - 60 дБ.

Основными ограничивающими факторами увеличения динамического диапазона являются ограничения физического характера на предельную мощность излучения оптических сигналов в типовом волокне и пороговую чувствительность приемного тракта. Предельная мощность излучения для типовых одномодовых ОВ ограничена уровнями 20 дБ (выше которых проявляются нелинейные эффекты, приводящие к существенным оптическим потерям). Максимальная пороговая чувствительность ограничена так называемым, квантовым пределом, которому современные лавинные фотодиоды, используемые в приемных трактах OTDR, уступают порядка 10 дБ. Возможности оптической рефлектометрии в настоящее время и обозримом будущем определяются именно этими оценками.

Основной задачей системы мониторинга с точки зрения ее взаимодействия с ВОЛС является минимизация «паразитного» влияния излучения OTDR на качество информационного потока, прежде всего на параметр (BER), характеризующий битовые ошибки. Эта задача на практике кардинально решается разнесением диапазонов оптических длин волн, используемых в ВОЛС и OTDR. Одним из негативных моментов данного обстоятельства является некоторое снижение при этом помехоустойчивости OTDR при обнаружении НСД, поскольку оптимальные длины волн (с точки зрения минимизации оптических потерь λ [дБ/км]), как правило, заняты оборудованием ВОЛС. Полные оптические потери A для OTDR линии протяженностью L равны

$$A = \lambda_{\text{реф}} L \quad (3.1)$$

Где $\lambda_{\text{реф}}$ - погонные потери OTDR в волокне [дБ/км] на длине волны $\lambda_{\text{реф}}$.

Для обнаружения рефлектометром локальных оптических потерь в волокне в произвольной точке трассы ОВ с уровнем a необходимо иметь на его входе отношение сигнал шум, равное [2.3]

$$B = 5 \log(4/a) \quad (3.2)$$

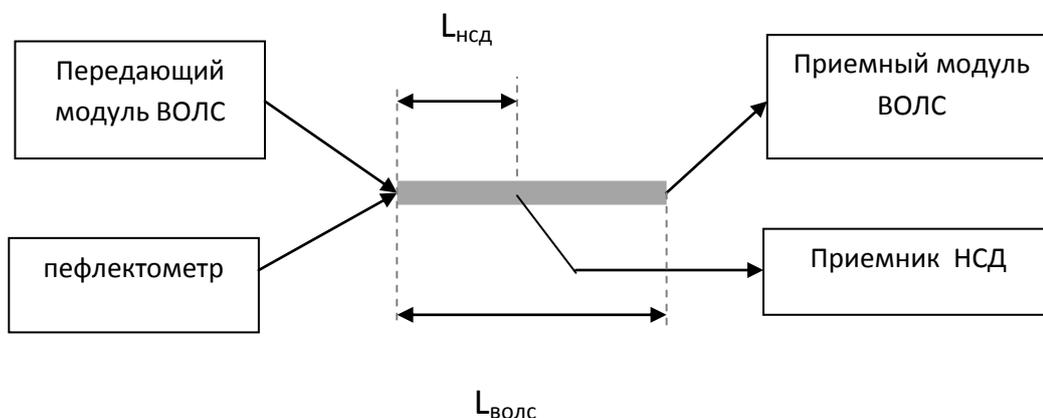


Рис.3.13. Схема подключения оборудования ВОЛС, средств мониторинга и НСД к рабочему волокну.

Очевидно, что для обеспечения требуемого для обнаружения НСД отношения сигнал шум V на входе OTDR на участке ВОЛС протяженности L , необходимо иметь запас динамического диапазона рефлектометра равный

$$D_{\text{макс}} - A \geq V \quad \text{или} \quad D_{\text{макс}} - \lambda_{\text{реф}} L \geq 5 \log(4/a) \quad (3.3)$$

Стратегия взаимодействия функционирующих средств НСД с ВОЛС заключается в частичном ответвлении из рабочего ОВ трафика ВОЛС с минимально достаточным качеством (энергетический уровень на входе приемника НСД, соответствующим минимальным требованиям к битовым ошибкам (BER)).

Стратегия взаимодействия системы НСД с системой мониторинга заключается в минимизации «рефлектометрической заметности» несанкционированного доступа к рабочему волокну.

Упомянутые стратегии взаимно противоречивы, поскольку стремление повысить качество отводимого системой НСД трафика ВОЛС однозначно требует повышения отношения сигнал шум на входе приемника НСД, что автоматически влечет за собой увеличение доли отводимой из волокна оптической мощности. Это приводит к росту оптических потерь в рабочем волокне и, следовательно, увеличению отношения сигнал/шум на входе приемного тракта OTDR. Поэтому центральной задачей для технических средств НСД является совершенствование следующих принципиальных характеристик:

- пороговой чувствительности приемного тракта НСД;
- коэффициента полезного действия при «отводе» трафика из ОВ η , определяющего уровень «непроизводительных» энергетических потерь.

Коэффициент полезного действия η в данном случае зависит от конкретного используемого метода НСД и совершенства технологии доступа к волокну и определяет уровень «непроизводительных» энергетических потерь.

Пороговую чувствительность приемного тракта НСД, по аналогии с чувствительностью OTDR, целесообразно принять равной пороговой чувствительности современного лавинного фотодиода $\sim 10^{14}$ Вт/Гц, которая приблизительно на 10 дБ уступает квантовому пределу. Очевидно оптические диапазоны длин волн, используемые средствами НСД и ВОЛС, совпадают.

Для решения задачи предлагается естественная идеализация технических средств и технологий НСД, базирующаяся на ограничениях физического характера. С этой целью предлагается принять величину пороговой чувствительности потенциального приемника НСД равной квантовому пределу, а коэффициент его полезного действия при ответвлении трафика ВОЛС, равным единице ($\eta=1$). Благодаря подобной идеализации, создаются объективные предпосылки для корректной постановки и решения поставленной задачи реальными средствами мониторинга ВОЛС в условиях априорной неопределенности относительно знания конкретных методов и средств несанкционированного доступа к волокну.

3.3.2. Энергетические оценки мониторинга НСД

Несложно убедиться, что оптические потери a в ОВ связаны с долей отводимой на вход приемника НСД мощности q соотношением

$$a=10\lg(1-q) \quad (3.4)$$

или в логарифмическом масштабе

$$a = 10 \lg (1 - 10^{0.1(1-q)}) \quad (3.5)$$

где q выражено в [дБ]

Графическая зависимость вносимых средствами НСД потерь a от доли отводимой мощности q приведена на рис.3.14.

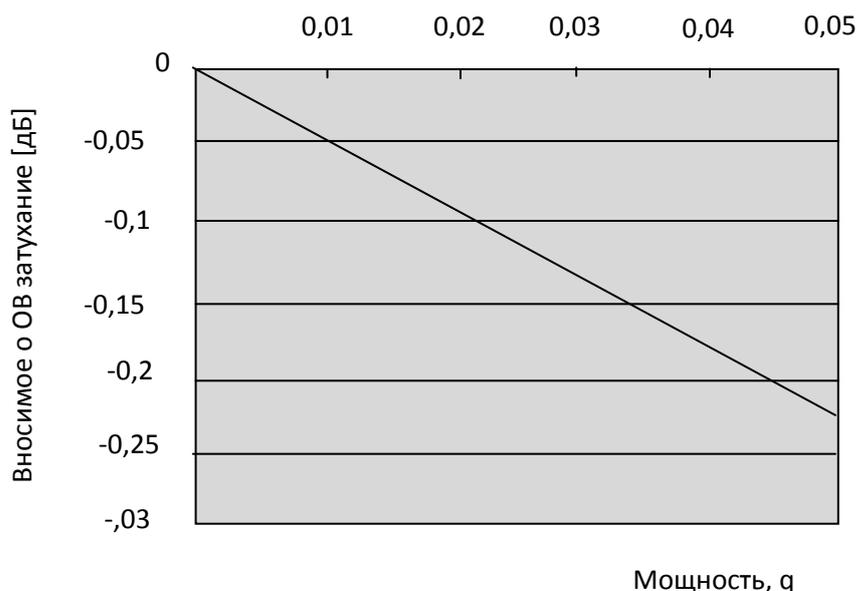


Рис.3.14- Зависимость вносимых средствами НСД оптических потерь от доли отводимой из волокна мощности.

Из формулы (3.3) следует соотношение, определяющее предельную дистанцию обнаружения рефлектометром, функционирующих средств НСД

$$L_{\text{реф}} = (D_{\text{реф}} - 5 \log (4/a)) / \lambda_{\text{реф}} \quad (3.6)$$

Из соотношений (3.4) и (3.6) получаем формулу, связывающую предельную дистанцию обнаружения рефлектометром НСД с (динамическим диапазоном рефлектометра и долей отводимой из волокна несанкционированной мощности q).

$$L_{\text{реф}} = (D_{\text{макс}} - 5 \lg (4/10(1-q))) / \lambda_{\text{реф}} \quad (3.7)$$

НСД от доли отводимой из ОБ мощности для разных значений динамического диапазона рефлектометра ($\lambda_{\text{волс}}=1,55$ мкм; $\lambda_{\text{реф}}=1,31$ мкм) (рис.3.15).

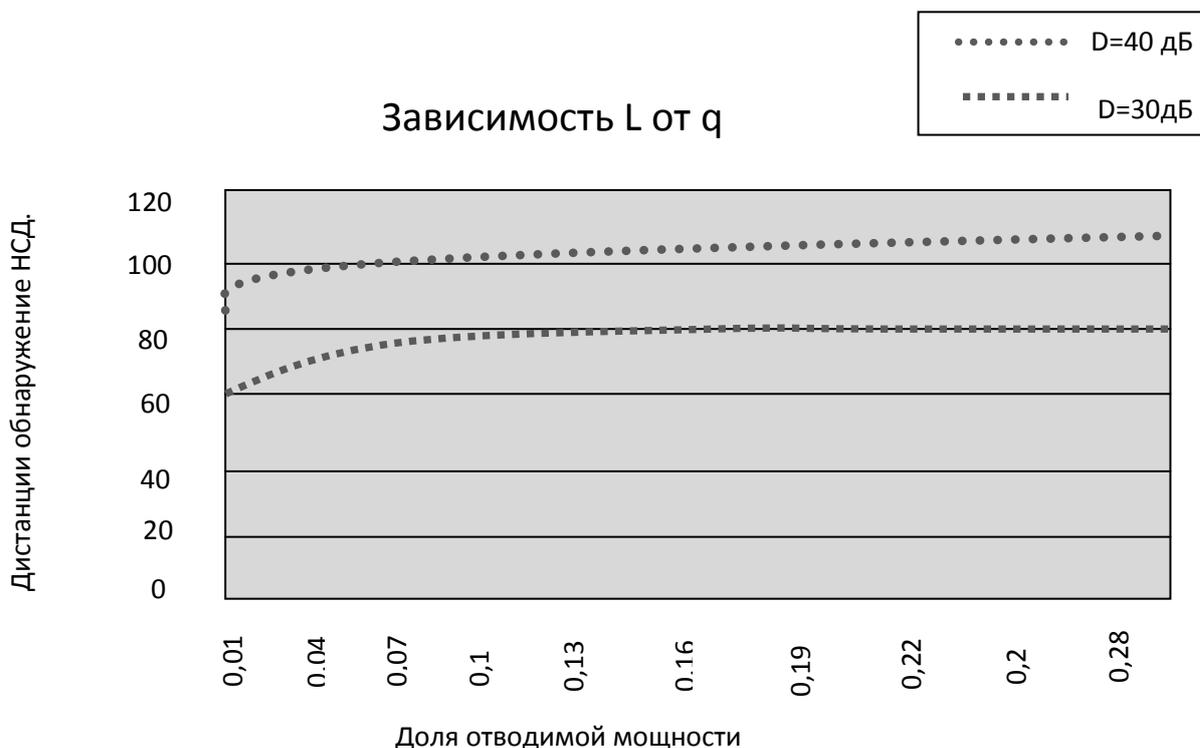


Рис.3.15 Зависимость предельной дистанции ОТОЯ обнаружения средств.

На рис.3.15 приведены графические зависимости, связывающие предельную дистанцию обнаружения НСД $L_{\text{реф}}$ с долей отводимой из волокна мощности q для двух значений динамического диапазона рефлектометра $O_{\text{макс}}=40$ дБ и 30дБ при $\lambda_{\text{волс}}=1,55$ мкм; $\lambda_{\text{реф}}=1,31$ мкм. В проведенных расчетах использовались типовые значения погонных оптических потерь для рассматриваемых длин волн сигналов в одномодовом волокне $\lambda_{\text{реф}}=0,34$ дБ/км; $\lambda_{\text{волс}}=0,20$ дБ/км. Очевидно, что при выполнении условия $L_{\text{нсд}} \geq L_{\text{реф}}$ функционирующие средства НСД всегда будут обнаружены рефлектометром системы мониторинга ВОЛС.

До сих пор рассматривалась ситуация, когда доля отводимой из ОВ мощности оптических сигналов превышала минимальный измеряемый порог оптических потерь для типового OTDR, равный = 0,01 дБ. Естественно возникает закономерный вопрос: Что будет в случае, когда вносимые средствами НСД потери меньше регистрируемой OTDR величины $a_{\text{мин}}$?

Рассмотрим ситуацию, когда идеализированный приемник НСД работает в режиме очень малых по уровню входных сигналов, когда доля отводимой из рабочего волокна мощности, соответствует потерям в волокне, не превышающим $a_{\text{мин}}=0,01$ дБ. Пусть пороговая чувствительность идеализированного приемника НСД на 10 дБ выше чувствительности приемника ВОЛС. Рассмотрим случай, когда приемники ВОЛС и НСД расположены в конце участка трассы ВОЛС, т.е. $L_{\text{НСД}} = L_{\text{ВОЛС}}$ (максимальная удаленность средств НСД от OTDR), причем требования к битовым ошибкам (BER) для них совпадают. Приравняем коэффициент полезного действия средств НСД единице ($\eta=1$). Введем в рассмотрение коэффициент энергетического запаса на данном участке ВОЛС $k_{\text{волс}}$, который на практике всегда присутствует с целью энергетической компенсации роста интегральных оптических потерь на участке ВОЛС из-за воздействия всевозможных дестабилизирующих факторов. Это означает, что при росте на данном участке оптических потерь до величины k еще будут выполняться минимальные требования к битовым ошибкам (BER), зависящим от отношения сигнал/шум на входе приемника ВОЛС. Чтобы для приемника НСД параметр BER был в минимально допустимых пределах, необходимо чтобы отношение сигнал/ шум на его входе совпадало со значением данного параметра для приемника ВОЛС в ситуации, когда вследствие роста интегральных потерь в линии энергетический запас $k_{\text{волс}}$ будет исчерпан. Отсюда следует, что в данных обстоятельствах идеальный нормально функционирующий приемник НСД может иметь уровень сигнала на входе

меньший по сравнению с приемником ВОЛС на величину запаса КНСД определяемого как

$$k_{\text{НСД}} \approx k_{\text{ВОЛС}} + 10 \text{ дБ}, \quad (3.8)$$

Из (3.4) следует, что для обеспечения необходимой помехоустойчивости функционирования средств НСД доля отводимой из ОВ мощности должна удовлетворять

$$10 \lg(1-q) < 0,01 \Rightarrow q < 0,0023 \text{ или } q < -26,38 \text{ дБ} \quad (3.9)$$

Поскольку рассматривается вариант равной удаленности приемников ВОЛС и НСД от передающего модуля ($L_{\text{НСД}} = L_{\text{ВОЛС}}$), то здесь параметр q одновременно характеризует отношение энергетических уровней сигналов на входах приемников НСД и ВОЛС. Отсюда следует, что если запас чувствительности приемника НСД $k_{\text{НСД}} < 26,38$ дБ, то функционирование средств НСД в конце участка ВОЛС становится невозможным по причине недостаточной чувствительности приемника. С учетом (3.8) последнее утверждение можно записать в следующем виде

$$k_{\text{ВОЛС}} < 16,38 \text{ дБ} \quad (3.10)$$

В подавляющем числе практических приложений условие (3.10) выполняется, поэтому для обеспечения минимально достаточной помехоустойчивости приемника НСД потребуется сдвинуть по дистанции место его подключение к ВОЛС в сторону передающего модуля на расстояние $\Delta L_{\text{НСД}} \geq (16,38 - k_{\text{ВОЛС}}) / \lambda_{\text{ВОЛС}}$

Очевидно, что если одновременно выполняется

$$\Delta L_{нсд} > 0; \quad L_{нсд} > L_{волс} \quad , \quad (3.11)$$

то функционирование средств НСД становится невозможным ни в одной точке трассы $L_{волс}$ по причине недостаточной помехоустойчивости.

Функционирующие средства НСД не будут обнаружены ни в одной точке данного участка ВОЛС, если выполняется

$$\Delta L_{нсд} < 0 \quad (3.12)$$

что эквивалентно отсутствию системы мониторинга. Если же выполняется

$$L_{нсд} > 0; \quad L_{нсд} < L_{волс} \quad (3.13)$$

то функционирующие средства НСД не будут обнаружены на ближнем к передающему модулю участке трассы

$$L_1 \in (0, L_{волс} - L_{нсд}), \quad (3.14)$$

а на оставшемся участке протяженностью $L_{волс} - L_1$ их функционирование будет невозможным по причине недостаточной помехоустойчивости.

Заметим, что приближение приемника НСД на величину $\Delta L_{нсд}$ в сторону расположения передающего модуля приводит в соответствии с (3.1) и (3.3) к увеличению отношения сигнал шум на входе приемника OTDR, что формально обязано уменьшить пороговую величину измеряемых рефлектометром потерь амин. С точки зрения помехоустойчивости OTDR это действительно происходит. Однако в данном случае не возникает противоречий, поскольку величина измеряемого рефлектометром минимального порога потерь амин выбирается и ограничивается разработчиками OTDR из соображений роста количества ложных тревог при

низких порогах обнаружения очень малых потерь. Реальное волокно оптического кабеля на трассе ВОЛС всегда имеет многочисленные микро и макро-изгибы, являющиеся источником оптических потерь, малосущественных с точки зрения вклада в общий бюджет ВОЛС.

Выводы к главе 3.

1. Методы контроля фрагмента среды передачи в ВОЛС должен базироваться на использовании оптических рефлектометров. Показаны их преимущества их использования при тестировании ВОЛС.

2. Методы тестирования должны включать этап обучения, анализа и идентификации оптическом волокне. В многоточечных сетях используются методы одновременного и разновременного тестирования ВОЛС.

3. Для тестирования по критерию частоты битовых ошибок целесообразно использовать BER –тестеры по схеме с применением шлейфа на удаленном конце или оптические рефлектометры с использованием резервных волокон.

4. При тестировании ВОЛС целесообразно использовать метод контроля по активному волокну по организационным схемам с передачей данных на двух длинах волн, с обходом регенерационных участка или оборудования, которые выбираются в зависимости от построения ВОСП и конкретных задач контроля.

5. ВОЛС недостаточно защищены от несанкционированного доступа к ним. Основная задача рефлектометрического мониторинга является обнаружение с локализация оптических потерь в рабочем волокне ВОЛС, вызванных ответвлениями средствами несанкционированного доступа части оптического излучение информационного потока.

6. Для регистрации факта несанкционированного доступа необходимо чтобы вносимые средствами НСД потери превышали нормы от доли отводимой из волокна несанкционированной мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система технической эксплуатации ЦСП СЦИ представляющая собой совокупность методов, алгоритмов, комплексов технических средств, эксплуатационный персонала, необходимых для обслуживания и управления трактами, секциями, каналами передачи, требует, в связи с внедрением новых технологий в ВОСП и в формируемых из них волоконно-оптических транспортных сетях (ВОТС), постоянного совершенствования. Последнее обуславливает необходимость проведения научно-методических и прикладных исследований направленных на развитие методов контроля качества функционирования ВОТС и модернизацию существующих систем мониторинга основных параметров и характеристик.

Постоянный контроль функционирования ВОСП и ВОТС, на соответствие их параметров и характеристик нормам и требованиям установленными в нормативных и технических документах, сбор и анализ информации о техническом состоянии элементов сети, ее обработка и анализ, обеспечение своевременной передачи информации о состоянии элементов ВОТС заинтересованным подразделением и службам, сбор и обработка статистических данных и анализ качества работы сети в целом и ее фрагментов являются основными задачами и функциями системы мониторинга, которая является составной частью автоматизированной системы управления технической эксплуатации ЦСП СЦИ.

В соответствие с целью и постановленными задачами в магистерской диссертации, основываясь на предварительном анализе построения ВОСП и ВОТС, проведен анализ методов мониторинга показателей качества функционирования ВОТС. Разработаны методологические аспекты построения и функционирования мониторинга ВОТС. Предложено подход к решению задачи повышения оперативности и методической достоверности непрерывного контроля линейных трактов ВОСП на основе использования систем мониторинга.

Рассмотрен метод оценки и процедура расчёта основного системного показателя качества функционирования ВОСП и ВОТС – битовых ошибок ES, SES, VBE. Исследованы методы контроля активных и пассивных элементов ВОСП и среды передачи; особенности, основные аспекты

построения и функционирование мониторинга несанкционированного доступа к ВОЛС.

Проведенные в магистерской диссертации исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Методы мониторинга показателей качества функционирования телекоммуникации зависят от структуры построения ВОСП и волоконно-оптической транспортной сети (ВОТС), используемых при этом технологий передачи, а также от перечня контролируемых параметров.
2. Разработанные научно-методологические аспекты построения систем мониторинга (СМ) волоконно-оптических сетей телекоммуникации являются основой проводимых исследований и совершенствования системы.
3. В системе мониторинга показателей качества функционирования ВОТС должны быть учтены все основные дестабилизирующие факторы ухудшающие передачу информации в системе передачи.
4. Организация непрерывного контроля ВОЛТ должна основываться на использовании информационно – измерительных систем (ИИС) которая должна соответствовать изложенным в работе требованиям.
5. В системе мониторинга необходимо использовать вторую методику основанную на контроле и оценки ошибок канала при включенном сервисе с использованием реальной последовательности передаваемых блоков, зависящей от используемой процедур обнаружения ошибок и номинальной скорости передачи.
6. Мониторинг должен контролировать основные показатели качества – битовые ошибки ES, SES, BBE и при этом использовать методы, процедуры и оценки показателей ошибок на основе BER и маски BER
7. Метод контроля фрагментов среды передачи в ВОТС должны базироваться на использовании оптических рефлектометров.
8. Для тестирования по критерию частоты битовых ошибок целесообразно использовать BER – тестеры по схеме с применением

шлейфа на удаленном конце или оптические рефлектометры с использованием резервных волокон.

9. ВОЛС недостаточно защищены от несанкционированного доступа и поэтому задача рефлектометрического мониторинга является обнаружение и локализация оптических потерь в рабочем волокне ВОЛС, вызванных ответвлениями средствами несанкционированного доступа части оптического излучения информационного потока. с учётом расстояния точки подключения по отношению к передатчику и приемнику оптических сигналов в ВОСП.

Перечень выбранных в работе контролируемых параметров качества функционирования ВОТС соответствует нормативного документу У 107:2003- “Временная инструкция по организации технической эксплуатации ЦСП на магистральных и внутризональных сетях телекоммуникации”. Показатели ошибок реальных каналов и трактов являются статическими параметрами и нормы на них задаются с соответствующей вероятностью их выполнения.

Результаты проведенных исследований методологических аспектов построения и функционирования системы мониторинга целесообразно использовать при совершенствовании существующих систем мониторинга и при создании новых.

Рекомендации.

1. Предложены методологические аспекты построения системы мониторинга целесообразно использовать при модернизации существующих систем контроля.
2. Рассмотренные особенности, принципы построения и функционирования мониторинга несанкционированного доступа к ВОЛС могут быть применены при их практической реализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крук.Б.И, Попапдонуло В.И, Шувалов В.П. Телекоммуникационных системы и сети. Том 1.Современные технологии М.Горячая линия-Телеком 2003г,647стр. Том 3.МУльтисервисные сети.2005.г 592 стр.
2. Иванов А.Б. Волоконная оптика, компоненты, системы передачи, измерения. Компании Сайрус-систем 1999г,671стр: ил
3. Дмитриев С.А., Слепов Н.Н. Волоконно-оптическая техника 2005 г, 567стр.
4. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М. «Техносфере» 2005г, 495стр.
5. Скляр О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы М. Солон Р. 2001г, 237стр.
6. Цифровые и аналоговых системы передачи (под.ред. В.И.Иванова) М.Горячая линия-телеком 2005г, 232 стр.
7. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей (под редакцией В.Н. Гордиенко, С.И.Крухмалева) М .Горячая линия – телеком 2004г, 232 стр.
8. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. (под.ред. В.И.Нефедова)М. Высшая школа 2005г, 536стр.
9. Справочник по телекоммуникационным технологиям. Бредон Докемар 2004г, 498стр.
10. Портнов Э.П. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. М. Горячая линия-Телеком 2009г, 544 стр.

11. Гитин В.Я. Волоконно-оптические системы передачи. М. “Радио и связь” 2003г, 128стр: ил
12. Иванов А.Б. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи измерения, анализ, тестирование, мониторинг. М. Компания Сайрус - системс 2001г, 375стр.
13. Информационные сети: архитектура, технология, стандартизация (под.ред. Сахнина) М .”Радио и связь” 2004г,328стр.
14. Оптические системы передачи (под.ред. В.И.Иванова) М .Радио и связь 1994г, 224стр.
15. TST 45043:2002 Система обеспечения единстве измерения в сфере связи и информатизации основные положения
16. Сергеев А.Т., Латышев В.М, Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация и технологические средств измерения. М. Высшая школа. 2002г ,525стр.
17. Крылов Г.Н. Основы стандартизации, метрологии и сертификации. М. Издательство стандартов 2005г, 497стр.
18. Сичов А.Е. Метрология и электроизмерение в телекоммуникационных системах. М. Высшая школа.2005г, 478стр.
19. Халилов М.М. и Далибеков Л.Р. Методологические аспекты построения системы мониторинга волоконно-оптических систем и сетей телекоммуникаций. Конференция аспирантов, магистров и студентов “Информационно-телекоммуникационные технология”.Т. ТУИТ. 2010г.
20. Далибеков Л.Р. и Халилов М.М. Анализ технических средств измерения характеристик и параметров ВОСП. Конференция аспирантов, магистров и студентов “Информационно-телекоммуникационные технология”.Т. ТУИТ. 2010г.