**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦИФРОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| http://rfcmd.ru/files/Avatar_VOSP.jpg | **Автор:** | **Е.Б. Алексеев** |
| *Алексеев Е.Б. Основы проектирования и технической эксплуатации цифровых волоконно-оптических систем передачи. Учебное пособие - М: ИПК при МТУСИ, 2004 г. - 119 с.*В учебном пособии рассмотрены основные положения по организации систем управления и технической эксплуатации сетей и средств электросвязи на современном этапе развития ЕСЭ РФ, вопросы оптимизации решений при проектировании и организации технической эксплуатации ВОСП по критерию надежности и на перспективу развития и необходимая нормативная база для этого. Рассмотрены вопросы применения ВОСП на сетях доступа и фотонизации этих сетей.Пособие написано на основе материалов лекций, прочитанных в 1996-2003 г.г. в ИПК МТУСИ по курсам «Проектирование и техническая эксплуатация ВОСП» и «Системы синхронной цифровой иерархии» с использованием основных положений развития ВСС России на перспективу до 2005 г., действующих Государственных стандартов России, Правил технической эксплуатации и руководящих документов отрасли, Рекомендаций Международного союза электросвязи, результатов исследований и разработок автора и накопленного опыта по результатам сертификационных испытаний и работ по подготовке к внедрению оборудования ВОСП.Учебное пособие предназначено для слушателей Института повышения квалификации руководящих работников и специалистов при изучении курсов по ВОСП. Пособие также может быть полезно техническому персоналу проектных, эксплуатационных предприятий связи, а также студентам факультетов МЭС и АЭС МТУСИ. |
|  **СОДЕРЖАНИЕ**[**ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**](http://rfcmd.ru/book_05/sokrashchenija)[**ВВЕДЕНИЕ**](http://rfcmd.ru/book_05/vvedenie)[**1. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕЙ И СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ЕСЭ РОССИИ**](http://rfcmd.ru/book_05/h1_1)[**1.1.Построение и перспективы развития Единой сети электросвязи Российской Федерации**](http://rfcmd.ru/book_05/h1_1)[**1.2.Основные положения по организации технической эксплуатации сети отдельного оператора**](http://rfcmd.ru/book_05/h1_2)[**1.3.Контроль показателей качества функционирования ОТЭ**](http://rfcmd.ru/book_05/h1_3)[**1.4.Принципы организации систем технической эксплуатации и управления сетей отдельного оператора**](http://rfcmd.ru/book_05/h1_4)[**2.ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВОЛП ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_1)[**2.1. Общие положения по проектированию ВОЛП**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_1)[**2.2. Общие требования по обеспечению надежности ВОЛП**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_2)[**2.3. Расчет длины участков ВОЛП**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_3)[**2.4. Особенности проектирования ВОЛП СЦИ**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_4)[**2.5. Основные положения по проектированию ВОЛП-ВЛ**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_5)[**2.6. Инженерный расчет показателей надежности ВОЛП**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_6)[**2.7. Оценка эффективности мероприятий по повышению надежности**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_7)[**3. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ**](http://rfcmd.ru/book_05/h3_1)[**3.1. Оптимальная стратегия восстановления**](http://rfcmd.ru/book_05/h3_1)[**3.2. Исследование влияния условий технической эксплуатации и места размещения технического персонала**](http://rfcmd.ru/book_05/h3_2)[**3.3. Нормативная база но технической эксплуатации ВОСП**](http://rfcmd.ru/book_05/h3_3)[**3.4. Стандартизация параметров оптического стыкааппаратуры ВОСП**](http://rfcmd.ru/book_05/h3_4)[**4. ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛП НА СЕТЯХ ДОСТУПА**](http://rfcmd.ru/book_05/h4_1)[**4.1. Архитектура и особенности развития сетей доступа**](http://rfcmd.ru/book_05/h4_1)[**4.2. Перечень волоконно-оптических средств**](http://rfcmd.ru/book_05/h4_2)[**4.3. Классификация систем оптического доступа**](http://rfcmd.ru/book_05/h4_3)[**4.4. Система контроля и управления**](http://rfcmd.ru/book_05/h4_4)[**4.5. Перспективы оптиковизации сетей доступа**](http://rfcmd.ru/book_05/h4_5)[**ЛИТЕРАТУРА**](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)[**ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Рекомендации по выбору рабочей длины волны и типов оптического кабеля для одноканальных ВОЛП без оптических усилителей**](http://rfcmd.ru/book_05/prilogenie1)[**ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Рекомендации по выбору типов оптического кабеля для многоканальных ВОЛП с оптическими усилителями**](http://rfcmd.ru/book_05/prilogenie2)[**ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Принцип работы ВОСП со спектральным разделением**](http://rfcmd.ru/book_05/prilogenie3)[**ПРИЛОЖЕНИЕ 4 Принцип работы оптических усилителей**](http://rfcmd.ru/book_05/prilogenie4) |

**ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ**

|  |  |
| --- | --- |
| АОВ | - активное оптическое волокно; |
| АСОТУ | - автоматизированная система оперативно-технического управления; |
| ВОЛП | - волоконно-оптическая линия передачи; |
| ВОСП | - волоконно-оптическая система передач; |
| ВРК | - временное разделение каналов; |
| ВвД (FTTH) | - волокно вводится в дом (помещение индивидуального пользователя); |
| ВвК (FTTCab) | - волокно вводится в кабинет (офис, учреждение); |
| ВвЗ (FTTB) | - волокно вводится в здание (к группе пользователей) |
| ВвШ (FTTC) | - волокно вводится в распределительный шкаф (перед одним или несколькими зданиями); |
| ГВКС | - гибридная волоконно-коаксиальная сеть; |
| ЕСЭ РФ | - Единая сеть электросвязи Российской Федерации; |
| ЗПС | - зоновая (региональная) первичная сеть; |
| ИКМ | - импульсно-кодовая модуляция; |
| КО | - контролируемый объект; |
| КТО | - корректирующее техническое обслуживание; |
| ЛП | - линия передачи; |
| МП | - микропроцессор; |
| МПС | - местная первичная сеть; |
| МСЭ-Т | - международный союз электросвязи (сектор телекоммуникаций); |
| НРП | - необслуживаемый регенерационный пункт; |
| ОА | - оптический аттенюатор; |
| ОВ | - оптическое волокно; |
| ОИ | - оптический изолятор; |
| ОК | - оптический кабель; |
| ОЛО | - оптическое линейное окончание; |
| ОР | - оптический разветвитель; |
| ОС (OS) | - операционная система; |
| ОСБ | - оптический сетевой блок; |
| ОСД | - оптическая сеть доступа; |
| ОСО | - оптическое сетевое окончание |
| ОП | - (сеть) общего пользования; |
| ОРС | - оптическая распределительная сеть; |
| ОТЭ | - объект технической эксплуатации; |
| ОУ | - оптический усилитель; |
| ОФ | - оптический фильтр; |
| ОЦК | - основной цифровой канал; |
| ПОС | - пассивная оптическая сеть; |
| ПС | - первичная сеть; |
| Пд (S) | - эталонная точка оптической цепи на передаче; |
| ПдУ | - передающее устройство; |
| Пр (R) | - эталонная точка оптической цепи на приеме; |
| ПрУ | - приемное устройство; |
| ПТК | - программно-технический комплекс; |
| ПТО | - профилактическое техническое обслуживание; |
| ПТЭ | - правила технической эксплуатации; |
| ПЦИ | - плезиохронная цифровая иерархия; |
| РВБ | - ремонтно-восстановительная бригада; |
| РВР | - ремонтно-восстановительные работы; |
| РГ | - регенератор; |
| PНP | - ремонтно-настроечные работы; |
| РТМ | - руководящий технический материал; |
| СИАС (AIS) |   - сигнал индикации аварийного состояния; |
| СМП | - междугородная (магистральная) первичная сеть; |
| СО | - сетевое окончание; |
| СОТУ | - система оперативно-технического управления; |
| СП | - система передачи; |
| ССП | - стык сети пользователя; |
| CTM-N | - синхронный транспортный модуль; |
| СТЭ | - система технической эксплуатации; |
| СУО | - стык узла обслуживания (пункт доступа ТС или узел |
|   | предоставления услуг); |
| СУЭ (TMN) | - сеть управления электросвязью; |
| СЦИ (SDH) | - синхронная цифровая иерархия; |
| СЭ(NE) | - сетевой элемент; |
| ТСС | - тактовая сетевая синхронизация; |
| ТР | - транспондер; |
| ТУСМ | - технический узел междугородных связей и телевидения; |
| ТЦМС | - территориальный центр междугородных связей и телевидения; |
| ТЦУ | - территориальный центр управления; |
| ТЭ | - техническая эксплуатация; |
| УО | - узел обслуживания; |
| УС | - узел сопряжения; |
| УПУ | - узловой пункт управления; |
| УТО | - управляемое техническое обслуживание; |
| ФД | - фазовое дрожание; |
| ЦСП | - цифровая система передачи; |
| ЦТЭ | - центр технической эксплуатации; |
| ЭД | - эксплуатационная документация; |
| ЭКУ | - элементарный кабельный участок; |
| ATM | - асинхронный режим переноса; |
| ВВЕ | - блок с фоновой ошибкой; |
| ЕХ (Х=1,2,3,4) | - цифровые тракты Европейской ПЦИ соответственно: первичный, вторичный, третичный и четверичный; |
| ES | - секунда с ошибками; |
| ESR | - коэффициент ошибок но ES; |
| IP | - интернет-протокол; |
| SES | - секунда, пораженная ошибками; |
| SESR | - коэффициент ошибок по SES. |

# ВВЕДЕНИЕ

В учебных пособиях [[1, 2](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] рассмотрены основные аспекты проектирования и технической эксплуатации современных волоконно-оптических систем передачи, которые являются общими для ВОСП как на базе ПЦИ, так и на базе СЦИ, а также основные характеристики транспортной сети и аппаратуры СЦИ, особенности проектирования и функционирования систем технической эксплуатации и управления на сетевом и элементном уровнях.

Вместе с тем к настоящему времени с момента выхода этих пособий произошли значительные изменения, связанные с появлением новых Рекомендаций МСЭ-Т и выходом в свет новых нормативных документов отрасли по ВОСП и СЦИ.

В настоящем пособии, предназначенном в первую очередь для обучения слушателей ИПК МТУСИ но курсам «Проектирование и техническая эксплуатация ВОСП» и «Системы синхронной цифровой иерархии», объединены и существенно переработаны материалы ранее выпущенных учебных пособий [[1, 2](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] за счет исключения части содержания в связи с его отражением сегодня в действующих нормативных документах отрасли и добавления новых аспектов в части проектирования и технической эксплуатации ВОСП.

Кроме того, в настоящем пособии дополнительно изложены вопросы оптимизации решений при проектировании ВОСП и организации их технической эксплуатации по критерию надежности и на перспективу развития, а также основные положения по организации систем управления и технической эксплуатации сетей и средств электросвязи на современном этапе развития ЕСЭ РФ, существенно расширен список литературы. Рассмотрены также вопросы оптиковизации и фотонизации сетей доступа.

Учебное пособие может быть полезно сотрудникам предприятий и организаций, занимающихся вопросами проектирования и технической эксплуатации современных ВОСП, а также студентам факультетов МЭС и АЭС МТУСИ.

[**1. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕЙ И СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ЕСЭ РОССИИ**](http://rfcmd.ru/book_05/h1_1)

# 1.1. Построение и перспективы развития Единой сети электросвязи Российской Федерации

Основой электросвязи Российской Федерации является Единая сеть электросвязи (ЕСЭ) РФ, обеспечивающая предоставление услуг электросвязи пользователям на территории России.

ЕСЭ РФ - сеть электросвязи, состоящая из расположенных на территории Российской Федерации сетей связи следующих категорий: сетей общего пользования (ОП), выделенных сетей, технологических сетей, сетей связи специального назначения и других сетей передачи информации при помощи электромагнитных систем. До 2003 года в соответствии с [[6](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] использовался термин Взаимоувязанная сеть связи Российской Федерации (ВСС РФ).

ЕСЭ РФ базируется на принципе организационно-технического единства, заключающемся в проведении единой технической политики, применении единого комплекса максимально унифицированных технических средств, единой номенклатуры типовых каналов и сетевых трактов.

По функциональному принципу сети ЕСЭ разделяются на транспортные сети и сети доступа.

Транспортнойявляется та часть сети связи, которая выполняет функции переноса (транспортирования) потоков сообщений от их источников из одной сети доступа получателям сообщений другой сети доступа.

Сетью доступасети связи является та ее часть, которая связывает источник (приемник) сообщений с узлом доступа, являющимся граничным между сетью доступа и транспортной сетью.

По способам организации каналов в сети ЕСЭ разделяются на первичные и вторичные.

Первичные сетиЕСЭ РФ предназначены для организации и предоставления во вторичные сети типовых сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических цепей.

На основе типовых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических цепей первичных сетей ЕСЭ РФ с помощью узлов и станций коммутации организуются различные вторичные сетидля транспортировки, коммутации и распределения сигналов в службах электросвязи.
На базе вторичных сетей организуются системы электросвязи.

представляющие собой комплекс технических средств, осуществляющих электросвязь определенного вида и включающие в себя соответствующую вторичную сеть и подсистемы нумерации, сигнализации, учета стоимости и расчетов с абонентами, технического обслуживания и управления. Система электросвязи может включать в себя одну или несколько служб электросвязи и одну или несколько сетей электросвязи.

Служба электросвязи представляет собой организационно-техническую структуру на базе сети связи (или совокупности сетей электросвязи), обеспечивающую обслуживание связью пользователей с целью удовлетворения их в определенном наборе услуг электросвязи.

Все сети и службы ЕСЭ РФ управляются соответствующими системами управления, обеспечивающими выполнение службами и системами связи определенных требований в части их устойчивого функционирования.

По территориальному делению сети ЕСЭ РФ разделяются на международные, междугородные, зоновые и местные (городские и сельские).

Международныесети связи - сети электросвязи технологически сопряженные с сетями связи других государств.

Междугородные (магистральные)сети связи - технологически сопряженные сети электросвязи, образуемые между центром Российской Федерации и центрами субъектов Федерации, а также центрами субъектов Федерации между собой.

Зоновые (региональные)сети связи - технологически сопряженные сети электросвязи, образуемые в пределах территории одного субъекта Федерации.

Местныесети связи - технологически сопряженные сети электросвязи, образуемые в пределах административной или определенной по иному принципу территории, не относящиеся к региональным сетям связи.

Междугородняя, зоновые и часть местных цифровых наложенных первичных сетей являются основой транспортной цифровой сети связи России. Местные первичные сети на участке «местный узел - оконечное устройство» в соответствии с новой терминологией являются сетью доступа.

В структуру ЕСЭ РФ входят следующие системы электросвязи ОП: телефонной связи, телеграфной связи, факсимильной связи, передачи газет, передачи данных, распределения программ звукового вещания, распределения программ телевизионного вещания. По мере развития средств связи структура систем связи ЕСЭ РФ может претерпевать изменения за счет интеграции ряда систем и образования их новых видов.

Сообщения, передаваемые в ЕСЭ РФ в реальном масштабе времени, в зависимости от степени важности содержащейся в них информации, подразделяются на три класса. Класс важности сообщения требует определенной степени надежности соединения при передаче этого сообщения. Для передачи сообщений I класса должна обеспечиваться организация трех независимых путей между сетевыми узлами (узлами привязки), к которым подключается арендатор каналов. Для передачи сообщений II класса необходимо иметь два независимых пути между узлами привязки либо один путь с использованием системы резервирования. Для передачи сообщений III класса достаточно одного пути между узлами привязки. Сообщения, передаваемые по коммутируемым сетям ОП, относятся к III классу.

На современном этапе развития совершенствование средств электросвязи и сети в целом идет по трем направлениям: цифровизация, оптиковизация и компьютеризация. Преимущества ДСП по сравнению с АСП и принципы их технической реализации были известны несколько десятков лет назад. Однако, по настоящему цифровизация сетей стала возможной немногим более 20 лет назад с появлением новой техники проводной связи - ВОСП. И сегодня, на современном этапе развития, процесс цифровизации - это не только постоянное увеличение числа действующих на сети ЦСП по сравнению с ACII (в канало-километрах), но и постоянное совершенствование методов передачи и обработки сообщений на основе цифровых трактов и каналов (появление новых технологий СЦИ и APП, гибкого мультиплексирования, организация сетевой тактовой синхронизации), что создает предпосылки в недалеком будущем к переустройству всей сети связи на качественно новом уровне.

Основные преимущества ВОСП, во многом предопределившие процесс развития цифровизации, также хорошо известны - это увеличение пропускной способности и сокращение числа промежуточных пунктов волоконно-оптической линии передачи. И сегодня, на современном этапе развития, процесс оптиковизации - это не только постоянное совершенствование средств волоконной оптики и опто-электронных устройств, это не только массовое внедрение ВОСП на соединительных линиях первичной сети общего пользования, а в будущем и создания оптической транспортной сети, но и реальная возможность оптиковизации сетей доступа и малоканальной сельской первичной сети, что создает предпосылки к созданию широкополосной цифровой сети с интеграцией служб.

Наряду с развитием процессов цифровизации и оптиковизации на сети постоянно совершенствуются полупроводниковая элементная база, микропроцессорная (МП) техника и программное обеспечение операционных систем, что явилось основой и для компьютеризации средств связи. И сегодня, на современном этапе развития, компьютеризация - это не только широкое применение МП - средств и ПТК в устройствах эксплуатационного контроля аппаратуры, телеконтроля и управления, диспетчерских пунктах контроля и управления сетью на различных уровнях иерархии системы технической эксплуатации, это не только применение МП и ЛТК в составе измерительной техники и при математическом моделировании на этапах разработки и проектирования, но и применение непосредственно для автоматизации и совершенствования основных функций передачи и обработки передаваемой информации при установлении соединения, что создает предпосылки для совершенствования концепции технической эксплуатации и управления средств электросвязи и всей сети связи в целом на новом качественном уровне.

На современном этапе развития сети электросвязи все три направления совершенствования средств электросвязи органически связаны друг с другом. Новая техника связи - это, как правило, высокоскоростные ЦСП па оптическом кабеле с высоким уровнем программного обеспечения.

# 1.2.Основные положения по организации технической эксплуатации сети отдельного оператора

#### 1.2.1 Общие положения

Техническая эксплуатация (ТЭ) - основной вид производственной деятельности предприятий электросвязи, реализуемый через систему технической эксплуатации. ТЭ сети отдельного оператора представляет собой совокупность методов и алгоритмов технического обслуживания (ТО), которые обеспечивают организацию и поддержание в требуемых пределах установленных норм любого объекта технической эксплуатации (ОТЭ).

Основной целью технической эксплуатации является минимизация как случаев возникновения, так и влияния отказов с тем, чтобы в случае отказа: надлежащийперсонал мог быть направлен в надлежащееместо с соответствующим оборудованием, имея надлежащуюинформацию, для проведения в надлежащеевремя надлежащихработ.

Техническая эксплуатация производится при:

* вводе в эксплуатацию (паспортизация);
* поддержании в состоянии исправности в процессе эксплуатации (техническое обслуживание);
* восстановлении работоспособности (ремонтно-настроечные и ремонтно-восстановительные работы).

Процесс технической эксплуатации включает в себя:

1. измерение рабочих характеристик;
2. обнаружение отказов;
3. сигнализацию об отказах и рабочих характеристиках;
4. резервирование;
5. восстановление работоспособности;
6. проверку (после восстановления).

К ОТЭ относятся технические средства электросвязи, являющиеся составной частью соединения в трактах и каналах передачи и имеющие стык ТЭ для обмена сигналами контроля и управления. ОТО предназначен для выполнения определенных функций между стыками передачи (рисунок 1.1). Результаты анализа рабочих характеристик ОТЭ, контролируемых встроенными устройствами эксплуатационного контроля, сообщаются по стыку технической эксплуатации, либо автоматически после возникновения отказа или ухудшения качества функционирования, либо по запросу об информации технической эксплуатации. Причины нарушения могут самыми разными. Часто встречаются отказы оборудования на объектах, где не выполнены надлежащие работы по установке и монтажу систем кондиционирования воздуха. Решением проблемы могут быть только размещенные соответствующим образом [кондиционеры недорого](http://www.barkos.ru/kanalcond/) и качественно охлаждающие воздух до требуемых температур летом и согревающие его в зимнее время. Эти меры позволят избежать нарушения температурного режима работы оборудования.



Рис. 1.1

Рекомендуются следующие методы ТО:

**профилактическое техническое обслуживание (ПТО),**выполняемое через определенные временные интервалы или в соответствии с заранее установленными критериями и направленное на своевременное предупреждение возможности появления отказа или ухудшения функционирования ОТЭ;

**корректирующее техническое обслуживание**(КТО), выполняемое после обнаружения состояния неработоспособности ОТЭ и направленное на его восстановление в состояние, когда параметры качества ОТЭ находятся в пределах установленных допусков;

**управляемое техническое обслуживание**(УТО), выполняемое путем систематического применения методов анализа состояния ОТЭ с использованием средств контроля рабочими характеристиками ОТЭ, управления качеством передачи и устранением неисправностей и направленное на сведение к минимуму профилактического технического обслуживания и сокращение корректирующего технического обслуживания.

ПТО включает:

1. периодический эксплуатационный контроль;
2. плановые измерения рабочих характеристик и РНР;
3. плановую замену компонентов аппаратуры;
4. текущее обслуживание оборудования и аппаратуры. КТО включает:
5. непрерывный эксплуатационный контроль;
6. эпизодический эксплуатационный контроль;
7. оперативно-технический контроль;
8. РВР и РНР;
9. измерение рабочих характеристик. УТО включает:
10. непрерывный эксплуатационный контроль;
11. оперативно-технический контроль;
12. операции управления и переключения на резерв.

Для аналоговых систем передачи и первых поколений коммутационных станций традиционно в основном применяется ПТО, позволяющее своевременно обнаруживать и устранять скрытые отказы в процессе профилактических проверок, проводимых с прекращением связи. Эффективность ПТО повышается при оптимизации величины периода между профилактическими проверками по минимуму потерь рабочего времени, либо по минимуму затрат. 13 процессе профилактических проверок могут быть обнаружены и устранены и намечающиеся явные отказы.

Для ЦСП наиболее предпочтительным уже является КТО, поскольку для них характерно обнаружение отказов без прекращения связи по коэффициенту ошибок (или показателям ошибок). КТО сводится к минимизации задержки технического обслуживания - периода времени между определением места отказа и началом работ по восстановлению. Это достигается применением оптимальной стратегии восстановления, особенно эффективной для ДСП на оптическом кабеле. Для КТО характерно то, что работы, связанные с устранением отказа (восстановление), проводятся с прекращением связи.

На современном этапе развития средств электросвязи и сети управления электросвязью доминирующее значение приобретает УТО, которое по сравнению с ПТО и КТО позволяет обнаружить и устранить намечающийся отказ, а в ряде случаев осуществить и восстановление без прекращения связи. Современные средства электросвязи практически ориентированы именно па применение УТО и во взаимодействии со средствами сети управления электросвязью обеспечивают техническую эксплуатацию на новом качественном уровне.

Наряду с ОТЭ определяются также вспомогательные объекты технической эксплуатации (ВОТЭ), не выполняющие непосредственно функцию передачи сообщений (устройства обнаружения отказов, передачи служебных сигналов, аварийной сигнализации, сопряжение с внешней системой контроля и управления).

Один или несколько ОТЭ с одним или несколькими ВОТЭ составляют элемент сети или сетевой элемент (СЭ). Для современных средств электросвязи, ТЭ которых основана на применении УТО, ОТЭ, входящие в состав СЭ, являются но существу управляемыми объектами. СЭ наряду с функциями электросвязи выполняет функции формирования и обмена сигналами управления и контроля с другими СЭ и сетью управления электросвязью (СУЭ).

#### 1.2.2 Эксплуатационный периодический и эпизодический контроль

Эксплуатационный контрольпредставляет собой процесс определения соответствия ОТЭ установленным требованиям в процессе их ТЭ.

Оценка качества функционирования ОТЭ, осуществляемая при эксплуатационном контроле, обеспечивает определение соответствия рабочих характеристик ОТЭ действующим нормам и нахождение ОТЭ с нарушением функционирования и отклонениями рабочих характеристик от действующих норм.

Для классификации отказов используются определения аномалии и дефекта.

Аномалия - это расхождение между текущим значением и требуемым значением параметра объекта. Аномалия может влиять или не влиять на способность объекта выполнять требуемую функцию.

Дефектом считается ограниченный перерыв способности объекта выполнять требуемую функцию. Он может требовать или не требовать действий по ТЭ в зависимости от оценки результатов дополнительного анализа.

Последовательные аномалии, вызывающие уменьшение способности ОТЭ выполнять требуемую функцию, рассматриваются в качестве дефекта.

Эксплуатационный контроль производится с помощью средств эксплуатационного контроля, включающих устройства встроенного контроля и программно-технические средства, входящие в состав ОТЭ, либо автономные средства измерений, в том числе устройства, обеспечивающие автоматизацию измерений и регистрацию их результатов.

Эксплуатационный контроль подразделяется на непрерывный, периодический и эпизодический.

Непрерывный контроль - вид эксплуатационного контроля, проводимого непрерывно или путем опроса соответствующего числа параметров с целью оперативного определения характера и места неисправности ОТЭ. Непрерывный эксплуатационный контроль сети является процессом, при котором аномалии и дефекты, обнаруженные в ОТЭ, анализируются и проверяются. Этот анализ может быть внутренним или внешним относительно ОТЭ. В случае внешнего он может выполняться либо местными, либо централизованными средствами ТЭ.

Контроль состоит из трех непрерывно и совместно проводимых процессов:

1. процесс контроля для выявления аномалий (кратковременный период);
2. процесс контроля для выявления дефектов (среднесрочный период);
3. процесс контроля для выявления ухудшенного качества (долговременный период).

Каждый процесс сопровождают определенные данные, то есть собранные данные об аномалиях и собранные данные о дефектах. Процессы контроля за аномалиями и дефектами соответственно указывают на возникновение состояний аномалии или дефекта. Процесс контроля за ухудшением качества оценивает уровень качества ОТЭ и решает, является ли качество нормальным, ухудшенным или неприемлемым. Эти уровни качества определяются на основе полученных и проанализированных данных об аномалиях и дефектах за заданный интервал времени. Пороги, разделяющие ухудшенные и неприемлемые пределы качества, и период наблюдения определяются для каждого дефекта и подтвержденного состояния неработоспособности или пакета аномалий и дефектов, а также для каждого типа ОТЭ. Индикация ухудшенного или неприемлемого значения рабочих-параметров выдастся каждый раз при превышении определенного порога. Этот процесс показан на рисунке 1.2. Все сигналы первичной информации от различных датчиков либо передаются от каждого ОТЭ в блок обработки, либо обрабатываются на месте. Показатели рабочих характеристик определяются на основе этой информации. Каждый из показателей рабочих характеристик, называемых показателями ошибок ES и SES (см. раздел 1.3), обрабатывается отдельно, чтобы рассчитать величину качества показателя работы ОТЭ.

Периодический контроль -вид эксплуатационного контроля проводимого по заранее намеченному плану или программе с помощью средств эксплуатационного контроля.

Эпизодический контроль -вид эксплуатационного контроля проводимого с помощью средств эксплуатационного контроля:

- по мере необходимости;



Рис. 1.2

- при отклонении отдельных параметров трактов и каналов передачи от норм;

- по заявкам вторичных сетей и других потребителей;

- в процессе и после ремонтно-восстановительных работ.

Периодический и эпизодический контроль проводится на основании методик проверки нормируемых параметров (рабочих характеристик) и определения места неисправностей, имеющихся в действующих инструкциях по эксплуатации и настройке, указаниях но проведению измерений и других действующих нормативных документах. Исходя из этих документов, определяется перечень контролируемых параметров и периодичность контроля (при составлении планов измерений), определяются значения параметров и необходимые (допустимые) технические средства.

#### 1.2.3 Оперативно-технический контроль. Аварийная сигнализация

Оперативно-технический контроль на первичной сети оператора связи - это процесс определения соответствия обобщенным оценкам состояния нижеследующих ОТЭ, именуемых контролируемыми объектами (КО):

* сетевых узлов (станций) - КО-СУ (СС);
* линий передачи - КО-ЛП;
* линейных трактов для ЦСП ПЦИ и мультиплексных и регенерационных секций для ЦСП СЦИ - КО-ЛТ;
* сетевых трактов для ЦСП ПЦИ, трактов виртуальных контейнеров для ЦСП ПЦИ и их участков - КО-С'Г (УСТ);
* каналов передачи - КО-КП.

Для современных ЦСП определение обобщенных оценок состояния должно осуществляться для всех ОТЭ.

КО (ОТЭ для современных ЦСП) характеризуются следующими обобщенными оценками состояния:

НОРМА - параметры качества и элементы КО находятся в пределах установленных допусков (приемлемое качество);

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ - параметры качества находятся в пределах установленных допусков, а параметры элементов КО, режим и условия работы свидетельствуют о повышенной возможности отказа КО (приемлемое качество);

ПОВРЕЖДЕНИЕ - параметры качества вышли за пределы установленных допусков в результате нарушения режима КО или наличия неисправности в нем, однако КО сохраняет состояние работоспособности (ухудшенное качество);

АВАРИЯ - параметры качества вышли за пределы установленных допусков в результате нарушения режима КО или наличия неисправности в нем, вследствие чего наблюдается отказ КО (неприемлемое качество).

Оперативно-технический контроль осуществляется непрерывно без вывода КО (ОТЭ для современных ЦСП) из эксплуатации. Сообщения о состояниях КО типа НОРМА, ПОВРЕЖДЕНИЕ и АВАРИЯ передаются в систему управления (СУЭ или СОТУ).

Линия передачи - КО-ЛП разбивается на участки ЛИ (УЛП), заключенные между промежуточными пунктами, где оканчиваются линейные тракты или выделяются сетевые тракты, а также между промежуточными и оконечными пунктами.

Линейный тракт для ЦСП ПЦИ - КО-ЛТ разбивается на участки (УЛТ), заключенные между пунктами выделения сетевых трактов или пунктами выделения и оконечными пунктами.

Неисправный участок КО-ЛП, КО-ЛТ, КО-СТ (УЛП, УЛТ, УСТ) определяется в ЦТЭ или СОТО путем анализа информации об изменении состояния КО (см. раздел 1.4.1).

На рисунке 1.3 показан процесс обработки информации ТЭ об ОТЭ, начиная с процесса контроля для обнаружения неправильного функционирования.



Рис. 1.3

Информационный сигнал ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и сигналы аварийной информации ПОВРЕЖДЕНИЕ и АВАРИЯ - могут выдаваться или не выдаваться в ОТЭ. Когда сигнал выдается за пределами ОТЭ, процесс обработки аварийной информации может объединять сигналы СИАС или СУОП, а также сообщения от других источников (например, от других ОТЭ, о времени суток, об интенсивности нагрузки и т.д.) с выходными данными от процесса контроля за плохим функционированием, чтобы решить, должны ли выдаваться аварийные или информационные сигналы ТЭ.

СИАС (сигнал индикации аварийного состояния) - сигнал, связанный с неработоспособным ОТЭ и передаваемый в пораженном направлении, в качестве замены рабочего сигнала, и указывающий другим работоспособным ОТЭ, что отказ идентифицирован и что другие аварийные сигналы ТЭ, являющиеся следствием этого отказа, должны быть блокированы.

СУОП (сигнал указания об отказе на предшествующем участке) сигнал, указывающий, что отказ произошел на участке, предшествующем по приему данному пункту, и поэтому какие-либо действия по ТЭ не инициируются.

Когда принят СИАС или СУОП, от ОТЭ может потребоваться выдача САС.

САС (сигнал аварии службы) - сигнал, выдаваемый ОТЭ, в которых начинается и/или заканчивается предоставление услуги, чтобы показать, что данный вид услуги более не предоставляется. САС должен выдаваться, когда величина рабочего параметра снижается ниже значения, требуемого данной службой. Это значение может совпадать с тем значением, при котором также выдается сигнал АВАРИЯ.

Сообщение об отказе, передаваемое по стыку ТЭ (см. рисунок 1.1), используется при определении отказавшего ОТЭ. Информация ТЭ может быть представлена либо на месте, либо дистанционно через систему сбора аварийных сигналов.

Сигналы аварийной информации могут быть представлены в виде:

- индикации на стыке стоечной аварийной сигнализации;

- сообщения аварийной сигнализации на стыке типа F (см. раздел 1.4.2).

# 1.3.Контроль показателей качества функционирования ОТЭ

Кперспективным ОТЭ относятся средства и сети связи на основе ЦСП, одним из преимуществ которых является возможность контроля качества функционирования без прекращения связи по обобщенному показателю.

До недавнего времени этим показателем был коэффициент ошибок (Кош).

Критерием отказа в ЦСП ПЦИ первых поколений является промежуток времени, когда Кош в каждую секунду в течение 10 последовательных секунд более, чем 10-3. Эти 10 секунд относятся к периоду неготовности. Период неготовности заканчивается, когда Кош в каждую секунду в течение 10 последовательных секунд менее, чем 10-3 (эти 10 секунд относятся к периоду готовности).

Значение Кош определяется как:



где: Nош - число ошибок, зафиксированное за время измерения Тизм;

Fт - тактовая частота цифровой последовательности сигнала передачи.



Значение Nош, а следовательно и Кош - случайные величины. Поэтому в приборах - измерителях коэффициента ошибок

(ИКО) измеряется среднее значение Кош за более длительный интервал времени n Тизм:

где: n- число сеансов измерения (степень усреднения);

Nошi - число ошибок, зафиксированных в i-том сеансе измерения.

Максимальная продолжительность измерения коэффициента ошибок (Кош) в зависимости от скорости передачи (F) в режиме счета ошибок до появления одной ошибки приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Кош F,Кбит/с | 10-6 | 10-8 | 10-10 | 10-12 | 10-14 |
| 64 (ОЦК) | 16,0 с | 26 мин | 43,4 ч | 180,8 сут | 49,5 лет |
| 2048 (Е1) | 0,5 с | 48,8 с | 1,4 ч | 5,6 сут | 1,5 года |
| 34368 (ЕЗ) | 30 мс | 2,9 с | 4,8 мин | 8,1 ч | 33,7 сут |
| 155520(СТМ-1) | 6 мс | 0,6 с | 64,3 с | 1,8 ч | 7,4 сут |
| 2488320 (СТМ-16) | 0,4 мс | 40 мс | 4с | 6,7 мин | 11,2 ч |
| 39813120 (СТМ-256) | 25 мкс | 2,5 мс | 0,25 с | 25,1 с | 41,9 мин |

При проведении измерений Кош с усреднением результатов эти значения умножаются на степень усреднения, которая может составлять величину от 10 до 100 в зависимости от требуемой точности измерений и возможностей измерителя коэффициента ошибок.

По мере того, как прояснялись причины возникновения ошибок в цифровой сети, стало понятно, что Кош как критерий оценки не всегда оптимален. Этот критерий пригоден для оценки систем, где имеют место случайные ошибки, но в системах передачи с большой скоростью возникают пачки ошибок, которые при этом нельзя точно оценить, т.к. свойства ошибки изменяются во времени. Сегодня в качестве оптимального критерия оценки качества передачи ОЦК на сети предложена процентная доля временных интервалов, где ошибки превышают порог, нормирующая качество многочисленных служб связи одинаково. Этот критерий состоит из двух параметров: процент секунд передачи с ошибкой и процент секунд, пораженных ошибками, причем, при пакетированных ошибках новый критерий и средний Кош за длительное время будут одинаково оценивать качество функционирования для цифровых линий высокой и низкой скоростей передачи. Определяются эти показатели ошибок для ОЦК следующим образом:

1. ESк (Errored Second), секунда с ошибками - период времени в одну секунду, в течение которого наблюдалась хотя бы одна ошибка;
2. SESк (Severely Errored Second), секунда, пораженная ошибками -период времени в одну секунду, в течение которого Koш был более 10-3;
3. ESR (Errored Second Ratio), коэффициент ошибок по секундам с ошибками - отношение числа ESк к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений;
4. SESR (Severely Errored Second Ratio), коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками - отношение числа SESк к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений.

Эти показатели ошибок не могут быть применены для оценки качества передачи в высокоскоростных цифровых трактах передачи, т.к. определения ESк, SESк основываются на регистрации ошибочных битов и, исходя из этого, на измерении Кош по битам. В устройствах встроенного контроля ЦСП ПЦИпроизводится оценка Кош по битам без прекращения связи за счет избыточности линейного цифрового сигнала (например, по нарушению свойств кода передачи). Однако, эта оценка приблизительна и не всегда адекватно отражает статистику ошибок в цифровом тракте передачи. Ошибочные биты могут быть однозначно опознаны, когда известна контролируемая последовательность, то есть при измерении с прекращением связи. А в ЦСП СЦИ вообще отсутствует возможность использования избыточности кода передачи.

Поэтому необходим был новый подход, который удовлетворял бы следующим требованиям:

1. пригодность для нормирования при более высокой скорости передачи;
2. возможность использования встроенных устройств контроля ошибок в оборудовании ЦСП для обеспечения оценки качества передачи без прекращения связи.

Это потребовало отхода от измерения ошибок по битам и перехода к измерению блочных ошибок. Блок определяется как группа другом битов, которые могут быть закреплены за исследуемым соединением. Каждый относится точно к одному блоку.

В каждой информационной структуре ПЦИ (Е1, Е2, ЕЗ, Е4) и СЦИ (BK-n, CTM-1) определены соответствующие: длительность блока, число бит в блоке и число блоков в секунду, как показано в таблице 1.2.

Таблица 1.2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Информационная структура ЦСП | Скорость передачи, кбит/с | Число бит в блоке | Длительность блока, мкс | Числоблоков всек. |
| Е1 | 2048 | 2048 | 1000 | 1000 |
| Е2 | 8448 | 4224 | 500 | 2000 |
| ЕЗ | 34368 | 4296 | 125 | 8000 |
| Н4 | 139264 | 17408 | 125 | 8000 |
| ВК-12 | 2240 | 1120 | 500 | 2000 |
| ВК-3 | 48960 | 6120 | 125 | 8000 |
| ВК-4 | 150336 | 18782 | 125 | 8000 |
| СТМ-1 | 155520 | 19440 | 125 | 8000 |

При контроле блока используются методы проверки избыточности цикла или контроль по четности.

Показатели ошибок для высокоскоростных цифровых трактов передачи определяются следующим образом:

1. EBт (Errorcd Block), блок с ошибками - блок, в котором имеется одна или несколько ошибок по битам;
2. ESт, секунда с ошибками - период времени а одну секунду, в котором имеется один (ESA) или несколько (HSB) блоков с ошибками;
3. SESт, секунда, пораженная ошибками - период времени в одну секунду, который содержит более 30% блоков с ошибками или, по крайней мере, один период с серьезными нарушениями (Severely Disturbed Period, SDP);
4. BBE (Background Block Error), фоновая блочная ошибка - блок с ошибками, не относящийся к секунде, пораженной ошибками;
5. ESR, коэффициент ошибок по секундам с ошибками - отношение числа EST к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений;
6. SESR, коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками -отношение числа SESт к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений;
7. BBER (Background Block Error Ratio), коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками - отношение числа ВВЕ ко всему количеству блоков в течение готовности за фиксированный интервал измерений за исключением всех блоков во время SESт

Период неготовности для одного направления тракта - это период, начинающийся с 10 последовательных SES (эти 10 секунд считаются частью периода неготовности) и заканчивающийся до 10 последовательных секунд без SES (эти 10 секунд считаются частью периода готовности). Для современных ЦСП промежуток времени в 10 последовательных SES является критерием отказа.

Показатели ошибок цифровых каналов и трактов являются статистическими параметрами и нормы на них определены с соответствующей вероятностью их выполнения.

Для показателей ошибок действуют следующие виды эксплуатационных норм: долговременные и оперативные.

Проверка долговременных норм требует в эксплуатационных условиях длительных периодов измерения - не менее 1 мес. Эти нормы используются при проверке качественных показателей цифровых каналов и трактов новых систем передачи (или нового оборудования отдельных видов, оказывающего влияние на эти показатели), которые ранее на сетях связи ОП не применялись.

Оперативные нормы относятся к экспресс-нормам и требуют для своей оценки относительно коротких периодов измерения Т=15 мин., 1 час, 1 сутки, 7 суток.

Среди них различают нормы:

1. ввода трактов в эксплуатацию (1);
2. технического обслуживания при эксплуатации (2);
3. восстановления систем (3).

(1)- измеряется, когда каналы и тракты, образованные аналогичным оборудованием ЦСП, уже имеются па сети и прошли испытания на соответствие долговременным нормам;

(2)- измеряется при контроле в процессе эксплуатации каналов и трактов и для определения необходимости вывода их из эксплуатации при выходе контролируемых параметров за допустимые пределы;

(3)- измеряется при сдаче тракта в эксплуатацию после ремонта оборудования.

Для анализа результатов контроля определяются пороговые значения S1 и S2 числа ЕS и SES за период Т при Т<1 сутки и одно пороговое значение BISO при Т=7 суток. Расчет пороговых значений проводится следующим образом:

а) определяется среднее допустимое число ES или SES за период наблюдения RPO (reference perfomance objective):
RPO = D Т В,

где: В- общая норма на данный показатель ошибок для международного соединения, протяженностью 27500 км;

Т - период наблюдения (измерения) в сек.;

D - суммарное значение доли общей нормы В( при L<27500 км);

б) определяется пороговое значение BISO (bringing-into-sеrvice objective) за период наблюдения Т:

BISO = k RPO,

где: k - коэффициент, определяемый назначением эксплуатационного контроля для (1), (2), (3); в соответствии с таблицей 1.3;

в) определяются пороговые значения S1 и S2:

S1 = BISO - 2,             S2 = BISO + .

Таблица 1.3

|  |  |
| --- | --- |
| Системы передачи | Сетевые тракты, участки, ОЦК |
| Вид испытания | k | Вид испытания | k |
| Ввод в эксплуатацию ремонта | 0,1 | Ввод в эксплуатацию | 0,5 |
| Ввод после ремонта | 0,1 | Ввод после ремонта | 0,5 |
| Ввод с пониженным качеством | 0,5 | Ввод с пониженным качеством | 0,75 |
| Эталонная норма | 1,0 | Эталонная норма | 1,0 |
| Вывод из эксплуатации | >10 | Вывод из эксплуатации | >10 |

Если за период наблюдения Т в процессе ТЭ (технического обслуживания) по результатам эксплуатационного контроля получено значение числа ЕS, SES, равное S, то это означает при (см. раздел 1.2.3):

S ≤ S2 -неприемлемое качество (АВАРИЯ);

S1<S<S2 - ухудшенное качество (ПОВРЕЖДЕНИЕ);

S ≤ S1 - приемлемое качество (НOPMA).

Если за период наблюдения Т при вводе в эксплуатацию (в том числе и после восстановления) по результатам эксплуатационного контроля получено значение ES, SES, равное S, то это означает при:

S ≥ S2 - не принимается в эксплуатацию;

S1< S< S2 - тракт принимается условно с проведением дальнейших испытаний за более длительные сроки;

S1 ≤ S2 - тракт принимается в эксплуатацию.

# 1.4 Принципы организации систем технической эксплуатации и управления сетей отдельного оператора

#### 1.4.1. Системы технической эксплуатации

Система технической эксплуатации (СТЭ) сети оператора связи - это совокупность методов и алгоритмов технического обслуживания ОТЭ на сети, технические средства связи и программно-технические средства, а также технический персонал, обеспечивающие функционирование сети с требуемыми качественными показателями.

На сетях ОП организуются соответствующими операторами этих сетей СТЭ междугородных сетей (СМП) и СТЭ зоновых сетей (ЗПС), которые при выполнении мероприятий ТЭ взаимодействуют друг с другом.

СТЭ первичной сети строится по территориально-иерархическому принципу с числом иерархических уровней, определяемым конкретными условиями технической эксплуатации и масштабами обслуживаемой сети.

На всех иерархических уровнях СТЭ могут функционировать:

* системы оперативно-технического обслуживания (СОТО) – для аналоговых и цифровых первичных сечей, организованных на основе ЦСП ПЦИ;
* центры технической эксплуатации (ЦТЭ) - для цифровых первичных сетей, организованных на основе ЦСП СЦИ.

Эти и другие структуры технической эксплуатации организуются на основе технических служб операторов сетей.

СТЭ СМП представляет распределенную по всей территории Российской Федерации систему, которая содержит четыре следующих иерархических уровня:

* федеральный уровень, на котором организован Главный центр управления междугородными связями и телевидением (ГЦУМС), обеспечивающий проведение единой технической политики в части технической эксплуатации и организацию технической эксплуатацией СМИ на территории всей страны;
* территориальный уровень, на котором организованы территориальные центры междугородных связей и телевидения (TЦМС),обеспечивающие техническую эксплуатацию СМП на обслуживаемых ими территориях;
* узловой уровень, на котором организованы технические узлы междугородных связей и телевидения (ТУСМ), выполняющие задачи технической эксплуатации СМП на обслуживаемых ими территориях;
* цеховой уровень, на котором организуются цеха, осуществляющие техническую эксплуатацию закрепленного участка СМП.

Для выполнения функций в автоматизированном режиме все уровни СТЭ СМП оснащаются программно-техническими комплексами (ПТК). Взаимодействие между различными иерархическими уровнями СТЭ СМП и СТЭ других сетей осуществляется с использованием каналов служебной телефонной связи и информационной сети передачи данных.

СТЭ 3ПС организуются соответствующими операторами региональных сетей электросвязи. Количество иерархических уровней организационной структуры каждой СТЭ ЗПС определяется конкретными условиями построения первичной сети. В общем случае СТЭ ЗПС содержит два иерархических уровня: верхний и нижний.

Для автоматизации процессов технической эксплуатации все уровни системы технической эксплуатации ЗПС оснащаются ПТК. Каждый иерархический уровень СТЭ ЗПС содержит базу данных своей зоны обслуживания для выполнения всех функций, возложенных на данный уровень СТЭ ЗПС. Взаимодействие между различными иерархическими уровнями СТЭ ЗПС и СТЭ других сетей осуществляется с помощью каналов служебной телефонной связи и информационной сети передачи данных, которая должна быть защищена от несанкционированного доступа.

#### 1.4.2 Системы управления

Система управления первичной сетью оператора связи предназначена для обеспечения нормального функционирования первичной сети при любых изменениях ее состояния, эффективного использования всех ее возможностей в интересах вторичных сетей и других пользователей, сокращения времени восстановления трактов и каналов передачи и повышения производительности труда технического персонала.

С учетом поэтапного характера цифровизации ЕСЭ РФ на первичных сетях могут использоваться следующие модификации систем управления:

* система (автоматизированная) оперативно-технического управления (СОТУ, АСОТУ) - для аналоговых и наложенных цифровых сетей на основе ЦСП ПЦИ;
* самостоятельная распределенная сеть управления электросвязью (СУЭ) -для современных средств электросвязи.

В зависимости от статуса первичной сети (CMП или 3ПС) используются различные системы СОТУ (АСОТУ).

СОТУМС обеспечивает оперативно-техническое управление СМП и междугородными вторичными телефонной и телеграфной сетями ОП, каналами междугородного телевизионного и звукового вещания, фотогазетными трактами на территории Российской Федерации.

СОТУЗС обеспечивает оперативно-техническое управление ЗПС и зоновыми вторичными телефонной и телеграфной сетями в пределах одного субъекта Российской Федерации (республики, края, области, и т.д.).

СОТУМС и СОТУЗС построены по иерархическому принципу и осуществляют управление через свои структурные подразделения.

Для оперативно-технического управления ЗПС в рамках СОТУЗС организуются следующие подразделения:

* служба оперативного управления (СОУ) ОАО «Электросвязь»;
* узловой пункт управления (УПУ), функционирующий под руководством СОУ ОАО «Электросвязь» или СОУ ОАО выделенной междугородной телефонной станции (МТС) и при экстремальных ситуациях оперативно подчиняющийся ТЦМС;
* информационно-исполнительный пункт (ИП), функционирующий под руководством УПУ и выполняющий функции по оперативно-техническому управлению и техническому обслуживанию предприятия ЗПС.

Организационно СОТУМС представляет собой территориально разнесенную многоуровневую иерархическую структуру и включает в себя подсистемы управления следующими видами сетей связи:

1. СМП (с разделением на аналоговую и цифровую сети);
2. сетью тактовой сетевой синхронизации (ТСС);
3. вторичными сетями:

а) междугородной телефонной сетью (с разделением на сети с аналоговыми и цифровыми станциями коммутации);

б) междугородной телеграфной сетью общего пользования;

в) междугородной сетью распределения программ телевизионного вещания;

г) междугородной сетью распределения программ звукового вещания.

Каждая из этих подсистем управления имеет соответствующее количество уровней иерархии, соответствующее количество и размещение центов управления в зависимости от назначения, размеров и разветвленности управления сетей.

Обмен информацией и подача команд между подразделениями СОТУ осуществляются в соответствии с установленными алгоритмами оперативно-технического управления сетями электросвязи.

Общий вид взаимосвязи между СУЭ и сетью электросвязи приведен на рисунке 1.4. Операционные системы обеспечивают выполнение функций СУЭ но обработке, хранению и поиску управляющей информации. Рабочие станции обеспечивают взаимодействие технического персонала первичной сети с сетью управления через стык типа F (физический уровень передачи данных в компьютерной сети). В качестве рабочих станций используются стандартные или специализированные компьютерные комплексы. Сеть передачи данных предназначена для организации связи между сетевыми элементами, операционными системами и другими компонентами СУЭ через стыки типа Q (уровни сетевой и выше передачи в компьютерной сети).

С функциональной точки зрения СУЭ является самостоятельной выделенной сетью, которая взаимодействует с управляемой сетью электросвязи для получения информации и управления работой сети. Основным принципом построения СУЭ является обеспечение общей архитектуры для обмена информацией управления по стандартным стыкам.



Рис. 1.4

СУЭ строится по иерархическому принципу, показанному на рисунке 1.5. Для целей технического обслуживания сети функциональность управления СУЭ может рассматриваться разделенной на уровни: управления элементами сети, управления сетью, управления услугами, управления бизнесом.

Каждый указанный уровень ограничивает процесс управления в пределах определенных границ, имеет свою информационную модель и структуру и взаимодействует с другими уровнями.

Уровень управления элементами сети осуществляет контроль и непосредственное управление элементами сети и является источником информации о состоянии элементов сети для следующих уровней.

Уровень управления сетью осуществляет функции по управлению сетью или ее участков, включающих географически разнесенные элементы сети. Этот уровень взаимодействует с уровнем управления услугами по вопросам качества, развития сети и т.д.

Уровень управления услугами осуществляет функции по взаимодействию с другими операторами, с поставщиками услуг и пользователями. Этот уровень управления является административным и взаимодействует с уровнем управления бизнесом.



- управление конфигурацией

- управление устранением неисправностей

- управление качеством передачи

- управление расчетами

- управление защитой информации

Рис. 1.5

Уровень управления бизнесом осуществляет функции общей деятельности оператора, связанные с предоставлением услуг электросвязи, и выполняет координацию работ по бизнесу. Этот уровень является уровнем управления оператора и взаимодействует с уровнем управления услугами.

Система управления охватывает вес функциональные области управления сетями, обеспечивающие поддержку оператора в его деятельности, а также управление сетями в чрезвычайных ситуациях (см. рисунок 1.5).

Управление конфигурацией включает планирование, формирование и развитие управляемой сети, установку и ввод в эксплуатацию нового оборудования, установление и изменение соединений между элементами сети, предоставление сетевых ресурсов пользователям и т.д.

Управление устранением неисправностей включает обнаружение, локализацию, регистрацию и устранение неисправностей в сети и т.д.

Управление качеством передачи включает сбор, обработку, регистрацию, храпение и отображение статистических данных о функционировании сети и ее элементов, анализ качественных показателей и т.д.

Управление расчетами включает сбор и учет предоставляемых услуг связи, начисление платы за их использование, подготовку, рассылку и контроль оплаты счетов и т.д.

Управление защитой информации включает (обеспечение конфиденциальности и целостности передаваемой информации, выдачу сигналов тревоги при несанкционированном доступе к информации и т.д.

На каждом уровне управления функции по управлению выполняются определенными организационно-техническими структурами (например, службами предприятий) в разном функциональном объеме в зависимости от содержания решаемых задач.

[**2.ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВОЛП ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ**](http://rfcmd.ru/book_05/h2_1)

# 2.1 Общие положения по проектированию ВОЛП

Исходными данными для проектирования ВОЛП являются:

* схема организации связи;
* технические характеристики на аппаратуру и кабели различных производителей, включая надежность и стоимость;
* протяженность участков регенерации;
* требуемая пропускная способность (линии передачи), в том числе и на перспективу;
* требуемые показатели надежности для ВОЛП в зоне действия оператора связи.

На первом этапе проектирования кабельных трасс и сетей рекомендуется рассмотреть технико-экономическое обоснование различных вариантов реализации схемы организации связи, для чего может потребоваться точный выбор кабельной продукции, например на сайте <http://sovsys.by/ru/products/product-1276.html>, а также выбор значений исходных данных для дальнейшего проектирования кабельного соединения:

* определение состава оборудования и протяженности кабеля, задействованных в проекте;
* расчет длин участков регенерации;
* расчет и проектирование показателей надежности; оценка экономической эффективности мероприятий по повышению надежности;
* расчет запасов ЗИП и их распределения;
* оценка технико-экономической эффективности реализации вариантов проекта.

Рекомендуется с целью сокращения капитальных затрат на местности с грунтами высокой категории проектировать прокладку оптического кабеля на опорах ВЛ в соответствии с основными положениями по проектированию ВОЛП-ВЛ, изложенными в п. 2.5.

При проектировании ВОЛП с целью повышения надежности, уменьшения эксплуатационных расходов и капитальных затрат, связанных с развитием на перспективу, рекомендуется в соответствии с РД 45.047-99 ориентироваться на:

* использование ОК только с одномодовыми оптическими волокнами (ОВ) даже на участках сети с малой пропускной способностью;
* применение ОК с резервными ОВ;
* применение более высокоскоростной аппаратуры линейного тракта (на одну или две ступени иерархии для ЦСП ПЦИ и на один или два уровня CTM-N в ЦСП СЦИ), по сравнению с исходными данными в части требуемой пропускной способности.

Действительно, при внедрении первых поколений ВОСП на местных и внутризоновых первичных сетях использовались ОК с многомодовыми ОВ. Сегодня эти ВОЛП бесперспективны, т.к. не позволяют увеличить при работе во 2-ом окне прозрачности (при длине участка регенерации 30 км) скорость передачи выше Е3 (480 ОЦК).

Появление и дальнейшее совершенствование одномодовых ОВ позволило резко увеличить предельную величину произведения ВхL, где В \_ скорость передачи, L - длина участка регенерации. Например, для ОК с самыми дешевыми ОВ при длине L=100 км предельная скорость передачи соответствует уровню С'ГМ-16 (30 тыс.ОЦК).

Кроме того, отличием одномодовых ОВ от многомодовых является и то, что предельная L по скорости передачи В зависит не только от параметров среды (хроматическая дисперсия), но и от параметров аппаратуры (ширина спектра оптического излучения). Таким образом, на том же типе ОК, при той же L скорость передачи в оптическом волокне может быть увеличена заменой аппаратуры (с другим источником излучения).

Такие ВОЛП уже имеют более долгосрочную перспективу.

Целесообразность прокладки ОК с резервными ОВ имеет несколько аспектов. Во первых, это запас по пропускной способности ВОЛП на перспективу развития, так называемый пространственный способ уплотнения информации. При этом, увеличение числа ОВ в ОК в 10 раз приводит к увеличению затрат на сооружение ВОЛП всего на 20 %. Во-вторых, это эффективное использование резервных ОВ для увеличения надежности функционирования ВОЛП. При этом резервные ОВ могут быть использованы:

* для замены рабочих, если их параметры в процессе прокладки или эксплуатации вышли за допустимые пределы;
* для организации переключения на резервный линейный тракт для ВОЛ11 ПЦИ или на резервную мультиплексную секцию для ВОЛП СЦИ;
* для обнаружения и локализации причин постепенно развивающихся отказов без перерыва связи подключением оптического рефлектометра к резервным ОВ, если эти причины являются общими для всех ОВ в ОК (например, в случае перегибов в ОК из-за смещения грунта, повреждения соединительной муфты и т.д.).

Целесообразность применения более высокоскоростной аппаратуры окончания линейного тракта (АЛТ) по сравнению с требуемой пропускной способностью легко поясняется примером на рисунке 2.1 для случая проектирования системы ИКМ-120 на ОК. Для простоты па рисунке изображено одно направление передачи.

В первом варианте (рис. 2.1а) для этого используется только АЛТ для передачи цифрового потока Е2(АЛТ-2), во втором варианте (рис. 2.1б) для этого используется уже АЛТ для передачи цифрового потока Е3 (АЛТ-3) и дополнительно комплект третичного временного группообразования (ТВГ).



б) вариант передачи Е2 в составе Е3 по ОК

СОК - станционный ОК

ЛОК - линейный ОК

УССЛК - устройство соединения волокон станционных и
линейных кабелей

Рис. 2.1

На первый взгляд значительные дополнительные аппаратные затраты во втором варианте тем не менее приводят к увеличению затрат в целом на сооружение ВОЛП всего на 0,5... 1,0 %. Зато получаем огромный выигрыш при необходимости увеличения скорости передачи в перспективе. Практически, это не связано ни с какими дополнительными затратами и не приводит к перерыву связи. В первом же варианте для увеличения пропускной способности еще на один поток Е2 потребуется либо установка еще одного комплекта аппаратуры АЛТ-2 и, главное, занятие дополнительных ОВ в ОК (при их наличии), что резко снизит эффективность вложенных капитальных затрат на сооружение ВОЛП, либо переход ко второму варианту, но эти работы будут связаны уже с перерывом связи.

Целесообразно ориентироваться на применение аппаратуры с большей пропускной способностью и при проектировании ВОЛП СЦИ.

Синхронный мультиплексор СТМ-16 дороже по стоимости мультиплексора СТМ-4 всего па 30 - 40 %, что опять же приведет к увеличению затрат в целом на сооружение ВОЛП всего на несколько процентов. Однако дополнительная пропускная способность аппаратуры СЦИ до того, как будет востребована необходимостью увеличения скорости передачи в перспективе, может быть эффективно использована, как это уже отмечалось выше, для увеличения надежностных показателей применением резервирования в подсети.

При проектировании ВОЛП рекомендуется также в соответствии с ориентироваться на:

* организацию однопролетных ВОЛП на местных первичных сетях;
* организацию однопролетного участка ВОЛП между двумя соседними сетевыми узлами на внутризоновых и магистральной первичных сетях, применяя для этого, при необходимости, оптические усилители (ОУ);
* гибкое использование в зависимости от назначения и возможностей различных способов уплотнения информации: временного, спектрального и пространственного.

Действительно, современный уровень компонентов ВОСП позволяет при организации соединительных линий на местных первичных сетях, на достаточно дешевой и компактной АЛТ с применением источников излучения первого поколения лазеров Фабри-Перо перекрывать одним пролетом все возможные протяженности при работе в том или ином окне прозрачности.

Сегодня, большинство изготовителей АЛТ, ориентируясь на рынок средств связи, выпускают, как правило, целое семейство АЛТ в едином конструктиве, но разной стоимости в зависимости от перекрываемого затухания (длины участка регенерации от 10 до 150 км), что приводит к большей гибкости по его применению на сети операторами связи.

Появление ОУ и их применение в составе АЛТ позволило увеличить предельную длину участка регенерации более чем в 2 раза, т.е. появилась возможность в большинстве случаев проектировать трассу ВОЛП на внутризоновых и магистральной первичных сетях через сопутствующие сетевые узлы.

Определены следующие три типа ОУ:

ОУ1 - ОУ передачи, с большим значением мощности насыщения, предназначенный для использования непосредственно на выходе оптического передатчика (ПдУ) АЛТ для увеличения уровня мощности сигнала;

ОУ2 - ОУ приема, с очень низким уровнем шума, предназначенный для использования непосредственно на входе оптического приемника (ПрУ) АЛТ для увеличения его чувствительности;

ОУ3 промежуточный ОУ, с низким уровнем шума, который следует включать между участками пассивного волокна для увеличения длины участка регенерации;

Возможные схемы применения ОУ в соответствии с определениями ОУ1, ОУ2, ОУ3 приведены на рисунке 2.2.

Дополнительная возможность по схемам применения ОУ (а, б и в) по существу увеличила ассортимент в семействе АЛТ, выпускаемых многими изготовителями аппаратуры. Оптические стыки АЛТ с применением ОУ классифицированы в ОСТ 45.178 по протяженности длины участка регенерации как стыки чипа V (vеry-очень длинные) и U (ultra-сверхдлинные). Стыки типа V соответствуют либо схеме: ПД,У+ОУ1+ПРУ, либо схеме: ПДУ+ОУ2+ПРУ, а стыки типа U соответствуют схеме: ПДУ+ ОУ1+ОУ2+ПРУ.



Рис. 2.2

Возможность применения ОУ в составе АЛТ позволила избежать проблемы электропитания необслуживаемого регенерационного пункта (НРП) ВОЛИ. Как следует из опыта внедрения первых поколений высокоскоростных ВОСП СЦИ, целесообразно также по возможности избегать сооружения НРП при проектировании ВОЛП и в связи с необходимостью его охраны от несанкционированного доступа.

Применение ОУ3 для одноканальных ВОСП на внутризоновых и магистральной первичной сети в большинстве случаев нецелесообразно, т.к. не позволяет решить проблему электропитания НРП (НУП) (протяженность в схеме на рисунке 2.2в всегда больше одного пролета в схеме на рисунке 2.2г из-за дополнительного шума, вносимого ОУ3). С другой стороны, по стоимости ОУ3, технологически представляющий по существу цепочку ОУ2+ОУ1, соизмерим со стоимостью регенератора СЦИ уровня СТМ-4. Поэтому для более низких скоростей организация НРП (с регенератором) экономически более оправдана, чем НУП (сОУз).

Однако эффективность использования ОУ3 резко возрастает при их применении  на оптических сетях доступа даже для одноканальных ВОСП и на всех участках сети ЕСЭ РФ для ВОСП со спектральным разделением каналов.

Что касается гибкого использования различных способов уплотнения информации (увеличения пропускной способности ВОЛП), то это связано с оптимизацией состава технических средств ВОЛП при развитии па перспективу.

Традиционно при проектировании ветви связи на перспективу (по пропускной способности) весь период развития разбивается на отдельные этапы, называемые большими (замена линейно-кабельных сооружений, т.е. строительство новой линии передачи) и малыми (замена АЛТ на более высокоскоростную) расчетными периодами развития.

Оптимизация состава технических средств ветви связи с учетом фактора времени осуществляется по результатам анализа эффективности затрат на каждом из этих этапов.

Возможности ОК, на которых реализуются современные средства электросвязи, обеспечивают при сооружении ВОЛП большой запас пропускной способности, что позволяет исключить в процессе оптимизации ветви связи учет больших периодов развития. Другими словами, при проектировании ветви связи на период развития выбирается такой ОК с таким типом оптических волокон, который обеспечивает необходимую пропускную способность ВОЛП к концу проектируемого периода развития.

Кроме того, как отмечалось выше существует ряд предпосылок, экономически оправданных для применения аппаратуры с большим запасом пропускной способности по сравнению с требуемой на начало периода развития.

В итоге при проектировании ветви сети на основе современных ВОЛП на весь период развития существенно упрощается процесс оптимизации состава технических средств, т.к. осуществляется оптимизация капитальных затрат по существу без учета фактора времени. Фактор времени проявляется поэтапным увеличением пропускной способности ВОЛП в процессе развития, что сопровождается фактически мизерным приращением капитальных затрат (и, соответственно, эксплуатационных расходов), по сравнению с начальными при строительстве ВОЛП.

Но именно это и обуславливает гибкое использование всех трех способов уплотнения информации при проектировании ВОЛП па перспективу развития.

По существу оптимизация состава технических средств для современных ВОЛП это прежде всего выбор оптимального ресурса (Ж по пропускной способности, определяемого как:

Pопт = nmB,
где n - число ОВ, в том числе и резервных;

В предельная скорость передачи при определенной длине L. участка регенерации (определяется типом ОВ, характеристиками аппаратуры и другими возможностями, позволяющими увеличить произведение ВхL);

m - предельное число оптических каналов при определенных В и L (определяется типом ОВ характеристиками аппаратуры и другими возможностями, позволяющими снизить влияние нелинейных эффектов, характерных для ВОСП со спектральным разделением).

# 2.2 Общие требования по обеспечению надежности ВОЛП

При проектировании ВОЛП должны быть заданы требования по надежности:

1. коэффициент готовности - Кг;
2. срок службы;
3. среднее время восстановления Тв.

При проектировании должна быть произведена оценка показателей надежности на соответствие заданным требованиям, путем построения структурной схемы надежности ВОЛП и расчета Кг и Тв с учетом резервирования по исходным данным о надежности составных частей оборудования, полученных от поставщика в соответствии с [ОСТ 45.63](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_63-96.htm) .

При проектировании ВОЛП должны быть определены требования к организации ТО и ремонта и средствам восстановления (ЗИП) аппаратуры ВОЛП.

В соответствии с [ОСТ 45.64](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_64-96.htm) должны быть установлены и записаны в контракте па поставку оборудования условия послегарантийного обслуживания и ремонта аппаратуры в течение срока службы, установленного в контракте, ТУ, либо других документах на оборудование.

Должно быть произведено ТЭО вариантов послегарантийного обслуживания и ремонта общего количества аппаратуры, предусмотренного контрактом.

При проектировании должен быть произведен выбор системы обеспечения восстановления аппаратуры с помощью ЗИП, для чего:

* производится расчет количества зон обслуживания ЗИПом аппаратуры BOJIП для заданного Тв и мест размещения ЗИП;
* в соответствии с [ОСТ 45.66](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_66-96.htm) по "Методикам оценки достаточности и расчета запасов в комплектах ЗИП средств электросвязи" определяется состав ЗИП для аппаратуры каждой зоны обслуживания по следующим исходным данным, которые должны быть предоставлены поставщиком:

а) состав оборудования, для которого должен быть рассчитан ЗИП (по платам и блокам);

б) нормативные (расчетные) показатели безотказности плат и блоков оборудования, для которого рассчитывается ЗИП;

в) период пополнения запасных частей, для расчета плат и блоков ЗИП;

г) стоимость плат и блоков оборудования при поставке в ЗИП (для оптимизации состава запчастей по стоимости).

Характерным для современных ВОСП является большой объем передаваемого трафика, т.е. большой объем потерь в случае его простоя, и большая протяженность между соседними промежуточными пунктами линии передачи, т.е. увеличение времени подъезда для устранения неисправности.

Как следует из выражения для комплексного показателя надежности - коэффициента готовности:



К1 = (2-1)

задача обеспечения требуемого качества функционирования ВОСП может быть решена за счет увеличения Т0 - среднего времени наработки на отказ, различными способами резервирования и (или) за счет уменьшения ТВ - среднего времени восстановления оптимизаций решений по организации технической эксплуатации уже на этапе проектирования ВОСП.

При решении задач оптимизации по критерию надежности лучше использовать выражение для коэффициента простоя (неготовности):


Кп = 1-К1 = (2-2)



где: - интенсивность явных отказов для периода нормальной эксплуатации.

При последовательном соединении по надежности высоконадежных элементов ОТЭ суммарный коэффициент простоя равен:


КП ≈ (2-3)

где: Кпi - коэффициенты простоя отдельных элементов ОТЭ.

В современных ВОСП с целью повышения надежности широко используется структурное резервирование по отдельным блокам аппаратуры и участкам линии передачи (мультиплексным секциям). 11ри этом могут применяться общее резервирование или раздельное резервирование.
При общем резервировании ОТЭ по схеме резервирования 1:n коэффициент простоя Кпр, без учета интенсивности отказов устройств переключения на резерв определяется как:

Кпр ≈ К (2-4)

Для оптимизации резервирования схема раздельного резервирования предпочтительнее, т.к. величина надежности ОТЭ с ростом кратности резервирования более резко возрастает, чем для схемы общего резервирования. Кроме того, в этой схеме, при необходимости, возможно применять различную кратность резервирования по каждому из элементов ОТЭ. Этим элементом, исходя из определения ОТЭ, может быть: отдельный блок (типовой элемент замены) в аппаратуре, участок линии передачи или сетевого тракта, мультиплексная секция, тракт виртуального контейнера, участок сети электросвязи.

Задача оптимизация структуры резерва заключается в определении оптимального состава резерва, т.е. нахождения вектора состава резерва:

Хopt Х = (х1, х2,…..хn),

где: xi - количество резервных элементов в i-той подсистеме схемы раздельного резервирования ОТЭ, i = 1,n .

При этом возможны две задачи оптимизации:

**Прямая,**когда находят оптимальный состав резервных элементов Х = Хopt, при котором достигается требуемое значение надежности объекта R(Xopt) ≥ Rтp при минимальной стоимости резерва:

C(Хopt) = min C(Х), Хо  Х.

**Обратная,**когда находят Xopt , при котором достигается наибольшая надежность:

R(Xopt) = maxR(X), Xopt X

при условии, что стоимость резерва не превышает допустимого значения:

С(Хopt)≤Сдоп.

Структура резерва, как правило, оптимизируется достижением требуемого значения надежности при минимальной стоимости нагруженного резерва (прямая задача оптимизации).

Для ОТЭ, состоящего из высоконадежных элементов, оптимальное число резервных элементов x, в i - той подсистеме схемы раздельного резервирования определяется как:



хi = (2-5)

где: qi - ненадежность (вероятность отказа или коэффициент простоя) i-гo элемента;

Сi - стоимость i-гo элемента;

Qдоп - допустимая величина ненадежности объекта, равная:

Qдоп = 1-Rтр

где: Rтр - требуемое значение надежности (вероятности безотказной работы или коэффициента готовности) ОТЭ.

Возможности последних поколений ВОСП на базе СЦИ позволяют осуществлять резервирование подсетевым соединением, когда используется резерв по пропускной способности. В частности, это позволяет программно осуществлять ввод графика обходов и замен, причем на каждом участке сети возможна оценка текущего состояния по загрузке и качеству передачи в отдельных информационных структурах. Особенно эффективен способ резервирования подсетевым соединением в кольцевых структурах связи, С целью реализации этого способа в составе технических средств линии передачи или сети используется оборудование с заведомо более высокой скоростью передачи. Поэтому оптимизация структуры резерва в целом по сети (или участку сети) для схемы раздельного резервирования осуществляется по критерию наибольшей надежности при существующих затратах (обратная задача оптимизации).

# 2.3 Расчет длины участков ВОЛП

При проектировании высокоскоростных ВОЛП на базе одноканальных ВОСП должны рассчитываться отдельно длина участка регенерации по затуханию (Lα) и длина участка регенерации по широкополосности (Lв), т.к. причины, ограничивающие предельные значения Lα и Lв независимы.

В общем случае необходимо рассчитывать две величины длины участка регенерации по затуханию:

Lα макс. - максимальная проектная длина участка регенерации;

Lα мин. - минимальная проектная длина участка регенерации.

Для оценки величины длин участка регенерации могут быть использованы следующие выражения:

L α макс<  (2-6)

 L α мин >       (2-7)

L в =     (2-8)

где Амакс, Амин (дБ) - максимальное и минимальное значения перекрываемого затухания аппаратуры ВОЛП, обеспечивающее к концу срока службы значение коэффициента ошибок не более 1 х 10-10 ;

αок (дБ/км) - километрическое затухание в оптических волокнах кабеля;

αнс (дБ) - среднее значение затухания мощности оптического излучения неразъемного оптического соединителя на стыке между строительными длинами кабеля на участке регенерации;

L стр (км) - среднее значение строительной длины кабеля на участке регенерации;

αре (дБ) - затухание мощности оптического излучения разъемного оптического соединителя;

n - число разъемных оптических соединителей на участке регенерации;

σ (пс/нм х км) - суммарная дисперсия одномодового оптического волокна;

Δλ(нм) - ширина спектра источника излучения;

В (МГц) - широкополосность цифровых сигналов, передаваемых по оптическому тракту;

Mα (дБ) - системный запас ВОЛП по кабелю на участке регенерации.

Если по результатам расчетов получено: Lв < Lα макс, то для проектирования должны быть выбраны аппаратура или кабель с другими техническими данными (Δλ, σ), обеспечивающие больший запас по широкополосности на участке регенерации. Расчет должен быть произведен снова. Критерием окончательного выбора аппаратуры или кабеля должно быть выполнение соотношения:

Lв > Lα макс

с учетом требуемой пропускной способности ВОЛП (В) на перспективу развития.

Максимальное значение перекрываемого затухания (Амакс) определяется как разность между уровнем мощности оптического излучения на передаче и уровнем чувствительности приемника для ВОЛП на базе ЦСП ПЦИ. Минимальное значение перекрываемого затухания (Амин) определяется как разность между уровнем мощности оптического излучения на передаче и уровнем перегрузки приемника
для ВОЛП на базе ДСП ПЦИ.

Амакс и Амин. для ВОЛП на базе ЦСП СЦИ должны определяться в соответствии с ОСТ 45.104.

Уровни чувствительности и перегрузки приемника определяются соответственно как минимальное и максимальное значения уровня мощности оптического излучения на входе приемника, при которых обеспечивается коэффициент
ошибок не более 1 х 10-10  концу срока службы аппаратуры для ВОЛП на базе ПЦИ и СЦИ.

Уровни мощности оптического излучения на передаче, ширина спектра источника излучения (Δλ), затухание оптического излучения разъемного оптического соединителя (αрс) уровни чувствительности и перегрузки приемника должны быть приведет,! в ЭД, ТУ и для ВОЛП СЦИ должны удовлетворять требованиям ОСТ.45.104.

Параметры оптических волокон и кабелей в выражениях (2-6), (2-7) и (2-8) должны быть приведены в технических характеристиках на поставляемый оптический кабель (αок, σ)или определяться условиями и технологией прокладки (αне, Lстр).

Системный запас (Мα) учитывает изменение состава оптического кабеля за счет появления дополнительных (ремонтных) вставок, сварных соединений, а также изменение характеристик оптического кабеля, вызванных воздействием окружающей среды и ухудшением качества оптических соединителей в течение срока службы, и устанавливается при проектировании ВОЛП исходя из ее назначения и условий эксплуатации оператором связи, в частности, исходя из статистики повреждения (обрывов) кабеля в зоне действия оператора.

Рекомендуемый диапазон устанавливаемых значений системного запаса от 2 дБ (наиболее благоприятные условия эксплуатации) до 6 дБ (наихудшие условия эксплуатации).

Расчет длины участка ВОЛП па базе многоканальных ВОСП (ВОСП-СР) также производится по двум критериям: максимальное перекрываемое затухание и максимально допустимая хроматическая дисперсия.

Расчет по первому критерию производится по формуле для максимальной длины элементарного кабельного участка (ЭКУ) ВОЛП на базе ВОСП-СР. Под ЭКУ следует понимать кабельный пассивный участок, не содержащий активных элементов - оптических усилителей или регенераторов.

Lэку =   (2-9)

где: Lэку (км) - длина элементарного кабельного участкам,

Ps (дБм)        - уровень оптической мощности на передаче

m                   - количество оптических каналов,

NF                 - фактор шума оптического усилителя, в дБ,


(дБ)        - минимально допустимое отношение мощности оптического сигнала к мощности оптического шума на входе приемника ВОСП,

K                   - количество ЭКУ на участке регенерации ВОСП,

Мдп (дБ)        - запас на дополнительные потери за счет дисперсии и нелинейных искажений в ОВ,

Pase- (дБм) - усиленное спонтанное излучение, приведенное ко входу оптического усилителя,

Pase определяется как:

PASE=10lg  (2-10)

где: h = 6,626 • 10-34 (Вт • с2) - постоянная Планка,

с = 2,998 • 1017 (нм/с) скорость света в вакууме,

λ (нм) -длина волны в третьем окне прозрачности (1529...1565),

Δf (Гц) - широкополосность цифрового сигнала, передаваемого по оптическому каналу (при расчете определяют Δf = f т — тактовая частота цифрового сигнала).

Выражение (2-9) учитывает накопление оптических шумов за счет промежуточных оптических усилителей.

Расчет допустимой хроматической дисперсии производится по нижеследующей методике.

1. Исходным параметром является допустимое уширение оптических импульсов (Dдоп) отношению к тактовому интервалу Цифрового сигнала для данной скорости передачи. (CTM-N).

2. По известной длине регенерационной секции Lрс = k  Lэку определяется вносимая при этом дисперсия:

Dmax = Lрс·σλв·Δλ+Kпмд·L

где: σλв - коэффициент дисперсии оптического волокна для Lmax рабочего диапазона длин волн, пс/нм- км, при этом:

σλв = σп + S(λв - λн)

где:- σп - паспортное значение коэффициента дисперсии волокна, указываемое для

λн = 1550 нм, S - коэффициент наклона дисперсионной характеристики ОВ, в пс/нм2- км,

λв = λmax - максимальная длина волны рабочего диапазона длин волн, в нм

Кпмд = 0,5(пс/км 0,5) - коэффициент поляризационной модовой дисперсии.

Поляризационная модовая дисперсия рассчитывается только для скорости СТМ-64.

3. Если выполняется условие Dmax ≤ Dдон компенсация не требуется.

4. Если Dmax>Dдон то требуется компенсация дисперсии. Для этого определяется разность:

ΔD = Dmax - Dдон

Отметим, что полную компенсацию дисперсии до нуля производить нецелесообразно, поскольку компенсатор вносит значительное затухание, поэтому компенсация осуществляется до величины AD.

5. Исходя из полученной величины AD, определяется подходящий тип компенсирующего волокна и его параметры: коэффициент дисперсии σкв (пс/нм-км) и коэффициент вносимого затухания σкв (дБ/км), после чего определяется длина компенсирующего волокна:

Lкв = 

где Δλф (нм) - полоса пропускания оптического фильтра в нм.

В оптимальном случае она выбирается равной ширине оптического спектра сигнала, который для цифрового сигнала СЦИ берется равным 2fт, где fт-тактовая частота цифрового сигнала.

6. Потери на затухание, вносимые компенсатором дисперсии:

αк = Lквαкв (дБ)

7. Полученное затухание распределяется на количество промежуточных усилителей, равное k-1. В зависимости от величины αкраспределение может распространяться на часть усилителей:

αку = 

8. Полученное αку проверяется согласно условию:

РВЫХус – АЭКУ + РВХmin-αку ≥0

где: Аэку - затухание ЭКУ, дБ,

РВЫХус - значение уровня выходной мощности промежуточного усилителя, дБм,

РВХmin - минимально допустимый уровень входной мощности промежуточного усилителя, дБм.

Если это условие выполняется, уменьшение длины ЭКУ не требуется, если же не выполняется, то необходимо уменьшить длину ЭКУ.

# 2.4 Особенности проектирования ВОЛП СЦИ

Общие положения по проектированию и расчету современных ВОЛП изложены в[разделе 2.1](http://rfcmd.ru/book_05/h2_1) и справедливы в том числе и для ВОЛП СЦИ. Однако ВОЛП СЦИ присущи свои особенности, связанные, во первых, с требованием к приемо-передающей аппаратуре по обеспечению поперечной или сквозной (transverse) совместимости, т.е. возможности использования оборудования различных изготовителей в пределах одного участка регенерации, что привело к необходимости спецификации параметров оптического стыка. Классификация параметров оптического стыка и требования к ним для ВОЛП СЦИ определены в ОСТ 45.104.

В целях гарантии надежной работы объекта связи в различных климатических условиях, в помещениях, где размещается телекоммуникационное оборудование необходимо поддерживать заданные параметры окружающей среды. В частности, рекомендуется применять [осушитель воздуха](http://techguru.ru/conditioners/recipes/air_dryer/) и приборы обогрева/охлаждения воздуха, особенно в неблагоприятных климатических зонах страны.

Для ВОЛП ПЦИ требуется лишь обеспечение продольной (longitudinal) совместимости, т.е. возможности использования оборудования временного группообразования и АЛТ различных изготовителей в точке общего для них цифрового сетевого стыка. Поэтому для ЦСП и ВОЛП важным является лишь выполнение требований по параметрам цифрового сетевого стыка в соответствии с ГОСТ 26886 для каждого уровня ПЦИ.

Параметры линейного сигнала (на оптическом стыке) для ВОЛП ПЦИ являются лишь рекомендуемыми и окончательно определяются изготовителем, т.к. предполагается, что в пределах одной ВОЛП устанавливается АЛТ одного и того же изготовителя. Это обстоятельство нашло свое отражение и в РД 45.100.

Требование обеспечения поперечной совместимости для ВОЛИ СЦИ предопределяет определенный допуск на разброс величин отдельных параметров оптического стыка. Поэтому в случаях применения в пределах одного участка регенерации оборудования одного изготовителя при проектировании может возникнуть неоправданно большой системный запас, т.е. проектная протяженность участка окажется существенно ниже, чем могут позволить возможности применяемого оборудования.

С учетом этого, при заключении контрактов на поставку оборудования изготовитель может предлагать оборудование с «улучшенными» параметрами оптического стыка, ориентированными на «единое техническое проектирование» (JE - Joint Engineering), т.е. рассчитанными на применение оборудования в пределах участка регенерации или ВОЛП.

При этом для оборудования той же стоимости может быть достигнута большая протяженность ВОЛП

Особенностью при проектировании ВОЛП СЦИ является и необходимость обеспечения рабочего диапазона длин волн источника излучения (передатчика) в соответствии с ОСТ 45.104. Это связано с выполнением условия, как отмечено в [п. 2.1](http://rfcmd.ru/book_05/h2_1), чтобы длина участка регенерации по затуханию, достигаемая при соответствующих значениях уровня мощности на передаче, чувствительности приемника и суммарного затухания мощности оптического излучения в линии, не ограничивалась длиной участка регенерации по широкополосности, достигаемой при соответствующих значениях скорости передачи, дисперсии оптического волокна и ширины спектра излучения передатчика. Рекомендации по выбору рабочих длин волн и типов оптических кабелей для одноканальных ВОЛП без оптических усилителей приведены в [Приложении 1](http://rfcmd.ru/book_05/prilogenie1).

Другой особенностью ВОЛП СЦИ является то, что в результате постоянного совершенствования средств волоконной и интегральной оптики, оптоэлектронной технологии, многие изготовители уже сегодня предлагают для реализации системы ОУ и системы спектрального разделения каналов, которые существенно расширяют возможности применения оборудования на сети.

В настоящее время многими зарубежными фирмами разработаны и серийно выпускаются как усилители всех трех типов ОУ1, ОУ2, ОУ3, так и аппаратура линейного тракта со встроенными оптическими усилителями, т.е. подсистемы ПдОУ и ПрОУ, причем в соответствии с рисунком 2.2:

ПдОУ = ПдУ+ ОУ1 , а ПрОУ= ОУ2+ПрУ.

Как уже отмечалось в разделе 2.1, оптические стыки аппаратуры линейного тракта с применением ПдОУ и ПрОУ классифицированы в ОСТ 45.178 по протяженности длины участка регенерации как стыки типа V (very) и U (ultra).

Стыки типа V соответствуют либо схеме: ПдОУ + ПРУ, либо схеме: ПдУ+ПрОУ, а стыки типа U соответствуют схеме: ПдОУ+ПрОУ.

При проектировании многоканальных ВОЛП с высокой пропускной способностью и большой протяженностью необходимо учитывать дополнительные факторы, как отмечено в [разделе 2.3](http://rfcmd.ru/book_05/h2_3), ограничивающие длину участка регенерации, учет которых приводит к другому подходу по выбору рабочих длин волн и типов оптических кабелей, который изложен в [Приложении 2](http://rfcmd.ru/book_05/prilogenie2).

И, наконец, важной особенностью при проектировании ВОЛП и сетей СЦИ, как отмечено в [разделе 2.2](http://rfcmd.ru/book_05/h2_2), является то, что среди критериев по которым проводится оптимизация схемы организации связи (выбора варианта проекта) на первое место выходит требуемая величина комплексного показателя надежности – Кr (или допустимая величина Кп), т.е. требуемое качество функционирования сечи в процессе эксплуатации.

Это обусловлено во первых, более жесткими действующими нормами на параметры цифровых каналов и трактов, которые организуются на современных средствах электросвязи, а во вторых, потенциально большой пропускной способностью транспортной сети, организуемой на основе ВОЛП СЦИ.

# 2.5 Основные положения по проектированию ВОЛП-ВЛ

#### 2.5.1 Общие положения

Все элементы ОК: оптические волокна, гидрофобное заполнение, силовые элементы, поясная изоляция и наружная оболочка могут быть изготовлены из диэлектрических материалов. Такие, полностью диэлектрические кабели могут быть подвешены на опоры высоковольтных воздушных линий электропередачи, так как они менее подвержены опасному воздействию мощных электромагнитных полей, чем металлические кабели связи. Очевидны достоинства такого варианта сооружения ВОЛП по сравнению с традиционным способом прокладки кабеля в грунт: отсутствие необходимости отвода земли, уменьшение сроков строительства, уменьшение количества повреждений в регионах с высоким уровнем урбанизации, снижение капитальных и эксплуатационных затрат в регионах с тяжелыми Фунтами, объединение финансовых ресурсов нескольких ведомств.

В настоящее время разработано 4 типа оптических кабелей для подвески на ВЛ:

1. самонесущие ОК;
2. ОК, навиваемые на фазовый провод;
3. ОК, встроенные в фазовый провод;
4. ОКГТ.

На магистральной и внутризоновых ВОЛН рекомендуется использовать ОКГТ, выполняющий функции и грозозащитного троса и функции круглой проволочной брони кабеля связи. Комплексная направляющая система подвешивается на грозостойке опор ВЛ вместо грозотроса.

#### 2.5.2 Указания по выбору ВЛ

2.5.2.1. Для подвески OKГТ следует использовать ВЛ с номинальным напряжением 110, 220, 330 и 500 кВ.

2.5.2.2. Для подвески ОКГТ на существующих ВЛ следует использовать ВЛ, на которых плотность отказов грозозащитных тросов в результате обрывов на 100 км в год не выше значений, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Плотность отказов грозозащитных тросов в результате обрывов

|  |  |
| --- | --- |
| Напряжение ВЛ, кВ | Плотность отказов |
| 110220330500 | 0,250,090,080,06 |

2.5.2.3 Типичные конструктивные характеристики высоковольтных ВЛ приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Конструктивные характеристики высоковольтных ВЛ

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Значение |
| Высота опоры, м | 20 ...30 |
| Наибольший пролет, м | 650 |
| Наименьшее допустимоерасстояние между проводами, м |  4,5...6,5 |

#### 2.5.3 Указания по выбору ОКГТ

2.5.3.1 Требования к конструкции ОКГТ приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Требования к конструкции ОКГТ

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Требование |
| Конструктивные элементы | Оптические волокна, оптические модули, силовые элементы, сердечник, гидрофобное заполнение, герметичная алюминиевая оболочка, повив из стальных проволок, и / или стальных проволок, плакированных алюминием, и / или проволок из сплава "Андрей". |
| Тип оптическогосердечника | Модульный, профилированный, профильно-модульный, пространственная спираль. |
| Металлическая оболочка | Герметичность, влагостойкость, механическая прочность, стойкость к воздействию соляного тумана, гололеда. |
| Броня (грозотрос) | Стойкость к растягивающим усилиям, стойкость к токам молнии, стойкость к токам короткого замыкания, стойкость к воздействию высоких и низких температур. |

2.5.3.2 Основные параметры кабеля ОКГТ в целом, его механические, климатические, эксплуатационные и электрические характеристики приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Значения параметров OKГТ

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика | Значение |
| Внешний диаметр кабеля, мм | 13 ...15 |
| Вес кабеля, кг/км, не более |   |
| Максимально допустимая растягивающая нагрузка (45% от RTS)кH, определяемая при 0,4%-ном удлинении, не менее |  30 |
| Среднеэксплуатационная нагрузка, кН, не менее | 8,75 |
| Модуль упругости, кГ/мм2, не менее | 8600 |
| Минимальное раздавливающее усилие, кН/см, не менее | 2 |
| Стойкость к изгибным колебаниям с угловым отклонением, градус | 30 |
| Стойкость к воздействию энергии короткого замыкания, кА .с | 60 |
| Стойкость к воздействию импульсов грозового разряда: амплитуда, кА,не менее Фронт, мксДлительность, мксЗаряд, Кл |  35250100 |
| Стойкость к воздействию повышенной влажности, %, при температуре 35 град.С | 98 |
| Диапазоны рабочих температур, град.СМаксимальнаяМинимальная |  +60-60 |
| Допустимое обратимое увеличение коэффициента затухания, дБ/км, в диапазоне низких температур от -50 до -60 град.С, не более |  0,05 |
| Срок службы, лет, не менее | 25 |

2.5.3.3 Проектирование ВОЛП-ВЛ ОКГГ следует проводить.

2.5.3.4Количество оптических волокон в ОКГГ следует определять с учетом перспективы роста трафика.

#### 2.5.4 Рекомендации по ТЭО строительства ВОЛП-ВЛ.

2.5.4.1 На этапе эскизного проектирования разрабатывается ТЭО строительства ВОЛП-ВЛ. ТЭО должно базироваться на сопоставлении подвесного варианта ВОЛП с традиционным подземным. При сопоставлении вариантов строительства ВОЛП-ВЛ используются разные критерии: минимум капитальных затрат; минимум приведенных затрат, когда учитываются и капитальные и эксплуатационные затраты; наибольшая скорость сооружения линии, минимизация организационных трудностей при эксплуатации.

Критерий наибольшей скорости сооружения применяется, как правило, для линий передачи специального, а не коммерческого назначения. Последний из перечисленных выше критериев не может быть выражен количественно и должен учитываться отдельно.

Важнейшим фактором, определяющим объем капитальных затрат, является сложность трассы прокладки (подвески) оптического кабеля. С повышением категории грунта повышаются требования к механической прочности кабеля, а, следовательно, и его стоимость, а также стоимость СМР. Это обстоятельство иллюстрируется типичными данными удельной стоимости кабеля и СМР, приведенными в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Удельная стоимость кабеля и СМР

|  |  |
| --- | --- |
| Тип кабеля (допустимое растягивающее усилие, кН)  | Стоимость, тыс.долл./км, для вариантов |
| Подземный | Подвесной |
|   | Кабель | СМР | Кабель | СМР |
| Тип 4 (2,7) | 4,05 | - | - | - |
| Тип 3 (7,0) | 4,42 | 10,45 | 8,2 | 8,7 |
| Тип 2 (20,0) | 5,81 | - | - | - |
| Тип 1 (80,0) | 13,52 | 14,74 | 10,0 | 10,52 |

Из данных таблицы 2.5 следует, что стоимости и кабеля и СМР увеличиваются пропорционально увеличению требуемой механической прочности кабеля.

# 2.6 Инженерный расчет показателей надежности ВОЛП

#### 2.6.1 Исходные данные для расчета и основные расчетные соотношения

Требуемые показатели качества и надежности для МСП, 3ПС и СМП ЕСЭ РФ с максимальной протяженностью Lм (без резервирования) приведены в таблицах 2.6, 2.7, 2.8.

Таблица 2.6 - Показатели надежности для МСП, L м = 200 км

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

Таблица 2.7 -Показатели надежности для 3ПС, L м = 1400 км

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатель надежности | Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой системы передачи | Канал ОЦК на перспективной цифровой сети | АЛТ |
| Коэффициент готовности | > 0,99 | > 0,998 | 0,99 |
| Среднее время между отказами, час |  > 111,4 |  >2050 |  > 350 |
| Время восстановления, час |  < 1,1 |  < 4,24 |  см.примечание |

Таблица 2.8 - Показатели надежности для СМП, L м = 12500 км

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показательнадежности | Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой системы передачи | Канал ОЦК на перспективной цифровой сети | АЛТ |
| Коэффициент готовности | > 0,92 | > 0,982 | 0,92 |
| Среднее время между отказами, час |  > 12,54 |  >230 |  >40 |
| Время восстановления, час |  < 1,1 |  <4,24 |  см. примечание |
| Примечание: Для оборудования линейных трактов на МСП, ЗПС и СМП должно быть:время восстановления НРП – Тв при < 2,5 час (в том числе время подъезда - 2 часа);время восстановления ОРП, ОП - Торн < 0,5 час;время восстановления ОК - Твок < 10 час (в том числе время подъезда 3,5 часа). |

Среднее число (плотность) отказов ОК за счет внешних повреждений на 100 км кабеля в год (по статистике повреждений на коаксиальных кабелях из опыта эксплуатации на магистральной сети первичной связи России) равно:

ν = 0,34,

тогда интенсивность отказов ОК за 1 час на длине трассы ВОЛП L определится как:

λок =     (2-11)

В начальный период использования ВОЛП-ВЛ, до 2010 года, пока не получены надежные эксплуатационные показатели надежности ОКГТ, следует принимать во внимание экстраполированные показатели надежности ОКГТ, приравнивая их к соответствующим эксплуатационным показателям надежности грозозащитных тросов.

Плотность отказов грозозащитных тросов в результате обрывов на 100 км ВЛ в год приведена в таблице 2.9.

Таблица 2.9 - Плотность отказов грозозащитных тросов в результате обрывов

|  |  |
| --- | --- |
| Напряжение ВЛ, кВ | Плотность отказов |
| 110 | 0,22 ... 0,25 |
| 220 | 0,06 ... 0,09 |
| 330 | 0,05 ... 0,08 |
| 500 | 0,03 ... 0,06 |

Нормативное время восстановления на ВЛ напряжением 110 и 220 кВ составляет 12,4 часа, а на ВЛ-300 и ВЛ-500 - 6,2 часа.

Учитывая высокую надежность современной аппаратуры ЦСП, целесообразно принять значение коэффициента готовности кабельной линии 0.985, а аппаратуры - 0,995. Тогда на подземной кабельной линии должны обеспечиваться следующие показатели:

1. коэффициент готовности - не менее 0,985;
2. среднее время между отказами - не менее 340,5 часов;
3. среднее время восстановления - не более 5,2 часов;
4. плотность повреждений - не более 0,1823.

Учитывая особенности технической эксплуатации ВЛ, среднее время восстановления следует принять равным не более 6,2 часа, а соответствующее значение наработки между отказами не менее 304 часов.

Показатели надежности ОКГ'Г гипотетической ВОЛП-ВЛ протяженностью 13900 км должны быть:

1. коэффициент готовности - не менее 0,985;
2. среднее время восстановления - не более 6,2 часов;
3. наработка между отказами - не менее 407 часов.

Показатели надежности ОКГТ на линии длиной 100 км должны быть:

1. коэффициент готовности - не менее 0,99989,
2. плотность отказов - не более 0,1554.

#### 2.6.2 Расчетные соотношения

При существующей на эксплуатации стратегии восстановления, начинающегося с момента обнаружения отказа (аварии), коэффициент простоя (неготовности) Ка11, определяется по известной формуле (2-2) или (3-10), а коэффициент готовности по формуле (2-1).
При длине канала (магистрали) L не равной LM среднее время между отказами определится как:
То(L) = То    (2-12)

Среднее время между отказами сетевых трактов N-гo порядка по отношению к среднему времени между отказами канала ОЦК определяется как:

 To(N) =      (2-13)

При параллельном соединении по надежности элементов системы передачи (например, линейных трактов) имеем в случае, когда коэффициенты простоя их равны Кn для резервирования по схеме n + m:


(2-14)

где n - число рабочих элементов;

m - число резервных элементов;

λо - интенсивность отказов одного элемента системы передачи;

λр- интенсивность отказов устройства переключения на резерв.

Для кольцевой структуры связи, т.е. когда λр = 0 и m = n = 1, из (2-14) получаем:

  (2-15)

Для последовательного соединения по надежности элементов системы передачи (например, участков магистрали или отдельных видов оборудования), суммарный коэффициент простоя определяется но формуле (2-3), в которой Кпi -коэффициенты простоя отдельных элементов системы передачи (например, аппаратуры и кабеля), определяются в соответствии с выражением (2-2).

Для случаев эксплуатации ВОЛП на основе оптимальной стратегии восстановления, начинающегося с обнаружения предотказового состояния ОТЭ, необходимо для инженерных расчетов показателей надежности использовать вместо выражения (2-2) другое приближенное выражение:


(2-16)

где t1 - время подъезда.

Более точные вычисления могут быть проведены на основе выражений (3-4), (3-6), (3-9) и (3-10).

#### 2.6.3 Методика инженерного расчета

В ходе расчета сначала вычисляются по данным характеристик надежности отдельных компонентов суммарные показатели надежности всего комплекса ВОЛП с использованием выражений (2-2), (2-11)  (2-13). Затем полученные величины сравниваются с требуемыми
значениями, пересчитанными из действующих норм на типовые протяженности (LM) к длине проектируемой линии передачи (L). Информация о характеристиках надежности отдельных компонентов ВОЛП присутствует в технических условиях на них.

Все необходимые для расчета нормы на надежность каналов и оборудования линейного тракта для магистральной, внутризоновых и местных первичных сетей общего пользования ЕСЭ РФ приведены в таблицах 2.6, 2.7, 2.8.

Если рассчитанные показатели надежности проектируемой ВОЛП не удовлетворяют требованиям первичной сети общего пользования, то применяют различные варианты повышения надежности ВОЛП - либо заменяют наименее надежные компоненты ВОЛП на такой же тип оборудования другого производителя (с лучшими показателями надежности), либо вносят изменения в структурную схему организации связи, вводя (по элементам или по линейному тракту на участке переключения), либо организуют эксплуатацию ВОЛП на основе оптимальной стратегии восстановления, что в большинстве случаев, как правило, приводит к такому же эффекту с точки зрения повышения показателей надежности при существенно меньших дополнительных капитальных затратах.

Потом для конкретно из выбранных вариантов повторяется расчет суммарных показателей надежности ВОЛП и снова сравниваются полученные величины с требуемыми значениями.

Эта же методика расчета может быть применима и при проектировании показателей надежности комплекса ВОЛП в целом или отдельных компонентов. Например, часть оборудования, применяемая в составе проектируемой линии передачи, уже жестко определена, а часть оборудования может быть выбрана из ряда предложений различных производителей.

Тогда при использовании расчетных выражений (2-1), (2-2), (2-4), (2-11)...(2-16) и данных таблиц 2.6, 2.7, 2.8 определяют требуемые значения характеристик надежности на отдельные компоненты ВОЛП. Эти значения при прочих равных условиях могут быть решающим критерием при выборе оборудования того или иного производителя.

# 2.7Оценка эффективности мероприятий по повышению надежности

Основным показателем, характеризующим эффективность использования мероприятий по повышению надежности является период возврата единовременных затрат.

Для расчета эффективности мероприятий определяются следующие показатели:

1. единовременные капитальные затраты (К);
2. текущие издержки - годовые эксплуатационные расходы (Э);
3. стоимостная оценка результатов от использования мероприятий в виде прибыли за год (П).

Эти показатели определяются за период возврата, равный сроку окупаемости капитальных вложений на мероприятия.

Затраты (единовременные и эксплуатационные) и оценка результатов мероприятий приводятся к расчетному году путем умножения их величины за каждый год на коэффициент приведения At, определяемый по формуле:

Аt = (1+Енп)ip-i ,

где: Енп - норматив приведения разновременных затрат и результатов, численно равный 0,1;

tр - расчетный год (предшествующий началу использования в эксплуатации мероприятий);

t - год, затраты и результаты которого приводятся к tp.

Период возврата (срок окупаемости) единовременных затрат определяется путем последовательного сложения величины (П - Э)Аt, до момента, пока полученная сумма не сравняется с величиной этих (капитальных) затрат.

Для стоимостной оценки результатов мероприятий по повышению надежности сначала рассчитывается дополнительное время для использования каналов, полученное за счет сокращения продолжительности простоев. Для этого производится расчет значений коэффициентов простоя при базовом варианте и соответствующем мероприятии исходя из априорного значения среднего времени наработки на отказ (Т0).

Разность значений коэффициентов простоя соответствует при том же значении Т0 разности значений среднего времени простоя в год, которое и является дополнительным временем для использования каналов - Тдоп (час).

При этом полезное время работы каналов ОЦК (кан.-час) увеличивается на:

Ткан = Тдоп-V,

где: V - число каналов ОЦК в ВОЛП.

Расчет прироста прибыли от сокращения времени простоя в общем случае проводится с учетом категорий пользователей по группам:

а)  арендная плата от спецарендаторов междугородных телефонных каналов;

б)  сумма прироста тарифных доходов от междугородных телефонных разговоров (по остальным каналам).

При удельном весе  протяженности каналов спецарендаторов от общей протяженности каналов ВОЛП, имеем:

Va = δ·V,

и, соответственно:

Та = δ-Ткан  = δ·Тдоп-·V,

В пересчете на число арендованных каналов, сэкономленных в год, это составит:



а для остальных каналов сети общего пользования:



Величина δ выбирается оператором из опыта эксплуатации. Ориентировочно эта величина для каналов на магистральной первичной сети составляет 0,25.

Прирост прибыли от реализации дополнительного времени Действия арендованных каналов определяется по формуле:

Пa =(Дa – Эa)·Na·Lм,

где: Да - средняя плата за один кан.- км ВОЛП в год;

Эа - эксплуатационные расходы на один арендованный кан.- км за год;

Lм - протяженность ВОЛП.

Прибыль, полученная за междугородные телефонные разговоры, представленные по остальным, сэкономленным каналам, определяется по формуле:

Пб =(Дб – Эб)·Nб·Y,

где: Дб - средняя доходная такса за один разговор;

Эб - себестоимость обслуживания одного разговора;

Y - пропускная способность одного канала в год. Общая сумма прибыли составит:

П = Па + Пб

[**3. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ**](http://rfcmd.ru/book_05/h3_1)

# 3.1 Оптимальная стратегия восстановления

Дня ВОЛП высокой пропускной способности и с большим расстоянием между двумя соседними промежуточными пунктами эффективно применение оптимальной стратегии восстановления, основанной на использовании информации о предотказовом состоянии (или обнаружении намечающегося отказа).

Схема функционирования ОТЭ во времени для случаев, когда восстановление начинается в отказовом состоянии и предотказовом состоянии, приведена на рисунке 3.1. Модель такой схемы восстановления приведена на рисунке 3.2.

ОТЭ может мгновенно переходить из состояния "норма" в состояние "отказа" с интенсивностью отказов λ0(внезапные отказы), а может переходить из состояния "норма" в состояние предотказовое с интенсивностью перехода λп, а затем в состояние отказа с интенсивностью λпо (постепенные отказы).

Восстановление элемента сети происходит с интенсивностью:

λв= 1/Тв,

где:Тв= t0 + t1 + t2 - среднее время восстановления;

to - время обнаружения и локализации неисправности;

t1 - время подъезда ремонтно-восстановительной бригады;

t2 - время замены (ремонта).

Очевидно, что:

  (3-1)

или

То = Тп + Тпо,

где: Тп - среднее время наработки на предотказовое состояние;

Тпо - среднее время наработки между предотказовым и отказовым состояниями.



Рис. 3.2

При построении модели в качестве критерия ненадежной работы ОТЭ примем коэффициент простоя Кп определяемый как отношение математического ожидания суммарного времени простоя Y(t) ко времени наблюдения t при t→∞.

Тогда для случая, когда восстановление ОТЭ начинается в отказовом состоянии выражение для коэффициента простоя имеет вид:

  (3-2)

где: P[m0(t) = 0] - вероятность того, что в ОТЭ нет требований на восстановление из-за отказа;

m0(t) - число отказов в ОТЭ за время t.

Аналогично, для случая, когда восстановление ОТЭ начинается в предотказовом состоянии, можно записать:

 (3-3)

где: P[mп(t),m0(t) = 0] - вероятность того, что в ОТЭ за время t возникло mп(t) требований предотказового состояния при отсутствии требований отказа.

  (3-4)

   (3-5)

где: F(λпо) - вспомогательная величина, связанная с функцией распределения времени обслуживания F(x) выражением:


(3-6)

Доказано, что при 0 <λпо< ∞ справедливо соотношение К<.К, причем, в предельном случае, когда λпо→∞ имеем:


(3-7)

а когда λпо→∞, т.е. λо → λп, имеем


(3-8)

Из соотношений (3-4), (3-5) и (3-7), (3-8) следует важный вывод, что стратегия восстановления ОТЭ, начинающаяся с предотказового состояния, является оптимальной стратегией, т.к. приводит к меньшей величине коэффициента простоя. Особенно она эффективна при технической эксплуатации современных ВОСП, для которых характерны большой объем передаваемого трафика, т.е. большой объем потерь в случае его простоя, и большая протяженность между соседними промежуточными пунктами линии передачи, т.е. увеличение времени подъезда t1 для устранения неисправности.

Характерные зависимости коэффициентов простоя при традиционной стратегии восстановления К и оптимальной стратегии восстановления K от интенсивности отказов λп≈λо приведены на рисунке 3.3.



Рис. 3.3

Стратегия оптимального восстановления, начинающегося в предотказовом состоянии, позволяет снизить время простоя при каждом восстановлении в среднем на 2-3 часа для каждой неисправности, что соответствует снижению коэффициента простоя ОТЭ, приблизительно, в два раза за счет использования резервирования по времени, когда в пределе среднее время восстановления, равное сумме средних значений времени подъезда к месту неисправности и времени устранения неисправности приближается к величине времени устранения неисправности.

# 3.2 Исследование влияния условий технической эксплуатации и места размещения технического персонала

Теоретический и численный анализ выражений, полученных при моделировании подтверждают необходимость введения приоритетов при устранении различных неисправностей. Выбранная стратегия восстановления при этом обеспечивает минимальное значение коэффициента простоя и занятости технического персонала при заданных показателях безотказности и ремонтопригодности ОТЭ.

В частности показано, что в случае, когда в процессе подъезда к ОТЭ с неисправностью, вызвавшей предотказовое состояние, техническим персоналом (РВБ) получена информация об отказе в другом ОТЭ, наиболее эффективным может оказаться проведение работ по восстановлению в следующем порядке: сначала устранение повреждения, вызвавшего предотказовое состояние, затем, отказовое. Дополнительный учет причин неисправностей с разной вероятностью перехода из предотказового состояния в отказовое и введение соответствующих приоритетов повышает эффективность обслуживания. Выражение для коэффициента простоя для оптимальной стратегии восстановления и с учетом приоритета неисправностей имеет вид:


(3-9)

где: S - число причин неисправностей.

Из выражения (3-9) получаем дополнительный запас времени, необходимый для компенсации возможных других более приоритетных видов неисправностей на обслуживаемом участке ВОЛП.

При этом предложено использовать следующий алгоритм определения приоритетности устранения неисправности:

а) приоритет устранения отказа i-той неисправности по сравнению с отказом i-той неисправности:

Ci (Tвj + t ij)>Cj(Tвi+t ij),

б) приоритет i-той неисправности, вызвавшей предотказовое состояние по сравнению с j-той неисправностью, вызвавшей предотказовое состояние:

Ci (t1j +t ij + T запj - Tзапi)>Cj(t1i + t ij + Tзапi - Tзапj),

или

Ci (t1i + t ij + Tпоj - Tпоi)>Cj(t 1j + t ij + Tпоi - Tпоj),

в) приоритет i-той неисправности, вызвавшей предотказовое состояние по сравнению с отказом j-той неисправности:

Ci (Tвj + tij - Tзапi) > CjTвi.

Во всех трех неравенствах используются обозначения:

Ci, Cj - стоимость часа простоя из-за i, j-той неисправности (вместо

Ci, Cj - могут быть в неравенствах использованы соответственно Ni,

Nj - число неисправных каналов ОЦК из-за i, j-той неисправности);

Tвi - среднее время восстановления i-той неисправности;

t1i - время подъезда до места, где возникла i-тая неисправность;

t1j - время проезда между пунктами, где возникли i-тая и j-тая неисправности;

Tзапi = Tпоi - t1i - время запаса по выезду к месту с i-той неисправностью;

Tпоi =  - среднее время перехода из предотказового в отказовое состояние для i-той неисправности.

Время между предотказовым и отказовым состояниями определится выбранной стратегией восстановления, временем подъезда и поиска неисправности, функцией распределения времени восстановления.

Прогнозирование отказов позволяет оптимально выбрать момент времени выезда РВБ к месту неисправности (и запас по времени выезда), который определится заданным временем между предотказовым и отказовым состояниями, и расстоянием от места неисправности до места размещения технического персонала.

Как показывают результаты математического моделирования при равномерной функции распределения времени восстановления, учет условий эксплуатации и введение соответствующих приоритетов на восстановление дополнительно позволяет снизить коэффициент простоя в среднем на 5...40% за счет дополнительного учета причин неисправностей с разной вероятностью перехода из предотказового состояния в отказовое на основе предложенного алгоритма определения приоритетности устранения неисправности, что позволяет получить дополнительный запас времени, необходимый для компенсации возможных других более приоритетных видов неисправностей на обслуживаемом участке сети или линии передачи.

С учетом равномерной функции распределения времени восстановления выражение (3-6) примет вид:


(3-10)

где: а и b - соответственно нижняя и верхняя границы случайной величины времени восстановления.

Оптимальное размещение РВБ при учете неравномерной функции распределения интенсивности отказов на магистрали позволяет дополнительно снизить коэффициент простоя ОТЭ на 11...32 % путем минимизации среднего радиуса обслуживания численным методом пристрелки по апостериорной, на основе статистических данных, и априорной функций распределения интенсивности отказов в зоне обслуживания.

Средний радиус обслуживания при неравномерной функции распределения интенсивности отказов вдоль линии передачи определяется как математическое ожидание расстояния rот произвольной точки и до места размещения РВБ х\*на отрезке [0, h], т.е.


(3-11)

где: r(u,х\*) = |u-х\*| - расстояние от произвольной точки на линии передачи до РВБ;
f(u) - функция распределения интенсивности отказов;

 - плотность распределения интенсивности отказов.

Для решения систем уравнений, определяющих размещение любого числа РВБ в зоне обслуживания с точки зрения минимума среднего радиуса обслуживания, может быть выбран численный метод пристрелки.
Строятся апостериорная fc(u), на основе статистических данных, и априорная fT(u) функции распределения интенсивности отказов в зоне обслуживания. Построение априорной функции распределения производится по графику суммарной интенсивности отказов λΣ(u), построенному с учетом разветвления линий передачи, затем осуществляется нормировка точек графика для определения



где   - нормирующий коэффициент.

График интенсивности отказов определяется согласно:



по графику функции р(u).

Пополученной функции распределения интенсивности отказов находится методом пристрелки оптимальное размещение n РВБ:

х\* =(x,x,...,x)

Пусть: t - время наблюдения (накопления статистических данных). Тогда выражение для обобщенной функции распределения интенсивности отказов имеет вид:

f(u) = β(t)fт(u)+[l-β(t)]fc(u),

где: 0 ≤ β≤ 1, причем 

# 3.3 Нормативная база по технической эксплуатации ВОСП

В рамках программы нормативного обеспечения отрасли разработан пакет нормативных документов (ИД) в области технической эксплуатации современных средств электросвязи с учетом основных положений развития ВСС России на перспективу до 2005 г. [[6](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] Рекомендаций МСЭ-Т серий G и М, современных условий функционирования первичных сетей и накопленного опыта их эксплуатации. В этом пакете могут быть условно выделены три слоя. Кпервому, верхнему слою, относятся новые "Правила технической эксплуатации сетей взаимоувязанной сети связи Российской Федерации" (ПТЭ) [[7](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. Ко второму слою могут быть отнесены расширяющие ПТЭ: Руководящие технические материалы (РТМ) [[47, 48](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], типовые технические требования Минсвязи России (ТТ) на средства электросвязи [[20, 21, 49-53](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] и действующие нормы на каналы и тракты [[17](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. И, наконец, к третьему слою - уточняющие или конкретизирующие отдельные детали: отраслевые стандарты и ГОСТы [[25-36, 54, 60, 61, 64](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], указания по измерениям [[55](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], руководства, инструкции по паспортизации, эксплуатации и восстановлению [[18, 19, 56, 57](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], рекомендации по безопасной работе [[58](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)].

Разработанный пакет НД отрасли является необходимой нормативной базой для повышения качества функционирования цифровых сетей.

При составлении старой редакции ПТЭ принципы технической эксплуатации были разработаны в основном, исходя из опыта эксплуатации на сети аналоговых систем передачи (АСП) и ДСП старого поколения, с учетом нормативных документов, выпущенных к середине 80-х г.г. Новые ПТЭ [[7](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] разработаны с учетом внедрения на сетях связи России новых поколений ДСП на базе ПЦИ и СЦИ, в том числе и на оптическом кабеле, а вместе с ними и новых методов технического обслуживания (ТО), с учетом вновь разработанных нормативных документов, Государственных стандартов России, Рекомендаций МСЭ-Т, современных условий функционирования сетей связи и накопленного опыта их эксплуатации. Кроме того, переработка прежней редакции ПТЭ произведена также с учетом новых экономических условий обеспечения взаимоувязанного функционирования и развития сетей в условиях разделения функций операторов и администрации связи, акционирования большинства предприятий сети электросвязи общего пользования и появления значительного количества операторов, предоставляющих услуги электрической связи.

В соответствии с новыми ПТЭ техническая эксплуатация первичной сети отдельного оператора представляет собой совокупность методов и алгоритмов ТО, которые обеспечивают организацию и поддержание в требуемых пределах установленных норм любых ОТЭ, к которым относятся технические средства электросвязи, являющиеся составной частью соединения в трактах и каналах передачи и имеющие стык ТЭ для обмена сигналами контроля и управления.

На повышение качества функционирования направлено и ужесточение требований к средствам электросвязи в части организации их технической эксплуатации и управления наряду с требованиями в части функций передачи [[49-53](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. К ним, прежде всего, относятся требования к наличию стыков:

1. сетевого управления и контроля;
2. местного обслуживания и управления;
3. аварийной сигнализации;
4. внешней аппаратуры и внешних датчиков;
5. служебной связи;
6. канала передачи данных,

а также требования к сигналам индикации аварийного состояния, системе автоматизированного контроля и управления, показателям ошибок, измеряемым с помощью системы контроля и управления и аварийной сигнализации.

В последней редакции ТТ на аппаратуру волоконно-оптического линейного тракта ПЦИ РД 45.100-2000 [[49](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] в отличие от ранее разработанных РД 45.095-94 [[20](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] и РД 45.085-97 [[21](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], кроме ужесточения требований в части ТЭ, определены требования только к параметрам цифрового сетевого стыка с целью обеспечения продольной совместимости, а параметры оптического линейного стыка стали рекомендуемыми с тем, чтобы производитель аппаратуры мог быть свободен в решениях по реализации схемы электронного регенератора и выбора кода передачи цифровых сигналов но оптическому тракту.

В ТТ на аппаратуру атмосферного оптического цифрового линейного тракта ПЦИ РД 45.036-99 [[50](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] определены параметры оптического стыка и общие требования по надежности функционирования атмосферной оптической линии передачи.

В ТТ на аппаратуру волоконно-оптических усилителей РД 45.186-2001 [[51](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] дана классификация этой аппаратуры по месту размещения в оптическом тракте, уровне выходной мощности оптического излучения и рабочему диапазону длин волн, определен набор и специфицированы параметры различных типов волоконно-оптических усилителей.

В ТТ на аппаратуру системы синхронной цифровой иерархии РД 45.059-99 [[52](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] определены требования к параметрам электрических и оптических стыков агрегатных и компонентных сигналов синхронных мультиплексоров и требования к функционированию аппаратуры и качественным показателям.

В ТТ на аппаратуру системы мониторинга оптических кабелей сетей связи РД 45.028-99 [[53](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] определены общие требования к функциональным возможностям и требования к параметрам и характеристикам аппаратуры.

В ТТ на аппаратуру волоконно-оптической системы передачи со спектральным разделением (ВОСП-СР) РД 45.286-2002 [[63](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] определены состав аппаратуры, место ее размещения в оптическом тракте и спектральные диапазоны длин волн для ее работы, специфицированы оптические параметры в точках нормирования оптического тракта и на отдельные компоненты ВОСП-СР.

В РД 45.047-99 [[47](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] изложены в дополнении к действующим ПТЭ [[7](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] основные положения по технической эксплуатации ВОЛП на магистральной и внутризоновой первичных сетях ВСС России на основе материалов Рекомендации МСЭ-Т М.20, а также по проектированию ВОЛП на базе ЦСП ПЦИ и СЦИ в том числе и для ВОЛП на воздушных линиях, включая инженерный расчет показателей надежности, определен порядок приемки и ввода в эксплуатацию аппаратуры и кабеля ВОЛП, даны рекомендации по техническому обслуживанию ВОЛП в процессе эксплуатации, рассмотрены вопросы организации и проведения ремонтно-настроечных и ремонтно-восстановительных работ на ВОЛП.

В РД.45.200-2001 [[48](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] изложены основные положения по применению волоконно-оптических средств на сетях доступа, на основе материалов Рекомендаций МСЭ-Т G.982 и G.983.1, приведены перечень и характеристики волоконно-оптических средств на основе материалов Рекомендации МСЭ-Т G.671, определены классификация систем оптического доступа и требования к основным параметрам, рассмотрены вопросы организации системы контроля и управления в соответствии с [[7](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] и Рекомендацией МСЭ-Т М.3010.

Неотъемлемой частью действующих ПТЭ [[7](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] является и разработанный РД 45.163-2000 [[57](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], взамен Приложения Б к книге 2 с учетом применения на сети современных средств электросвязи. В этом документе изложены общие положения по ведению и перечень форм производственной документации, включая порядок заполнения этих форм.

В дополнении к действующему РД 45.047-99 [[47](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] разработан РД 45.173-2000 [55], в котором изложены общие положения по проведению измерений на аппаратуре ЦСП, приведены перечни параметров аппаратуры ЦСП ПЦИ и СЦИ и определены порядок и методы их измерений, а также рекомендованы средства измерения этих параметров. Область применения разработанного документа распространяется и на ЦСП ПЦИ на кабелях с металлическими жилами.

Также в дополнении к РД 45.047-99 [[47](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] разработано РД 45.180-2001 [[56](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], в котором определена классификация видов повреждений оптических кабелей (ОК) и рассмотрены организация и технология проведения планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ на линейно-кабельных сооружениях ВОЛП.

В стандарте отрасли ОСТ 45-119-98 [[34](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] определены требования безопасности к помещениям и оборудованию необслуживаемых пунктов ВОЛП, техническому персоналу и средствам защиты при ТО (ремонтных работах), приведена классификация лазерных изделий (лазеров) по степени опасности генерируемого излучения и уровней опасности ВОСП.

В Рекомендациях Р 45.07-2001 [[58](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], ориентированных на операторов связи, определена классификация источников оптического излучения по степени опасности генерируемого излучения в соответствии со стандартом МЭК 60825-1,2, рекомендованы меры безопасности при проектировании, строительстве и технической эксплуатации оптических систем передачи, а также порядок контроля за соблюдением этих мер.

Появление на рынке средств связи новых технологий и средств сопровождается и появлением целого пакета международных стандартов и Рекомендаций МСЭ-Т, а также ряда публикаций в зарубежных и отечественных источниках по различным аспектам их применения на сети. Все это прежде всего ставит на повестку дня вопрос о разработке терминологических стандартов в области новой техники, поскольку в отмеченных выше материалах и их переводах встречаются различные редакции определений и терминов одних и тех же понятий, что может привести к неправильному их пониманию.

С этой целью сегодня в пакете НД разработаны стандарты отрасли ОСТ 45.121 -97 [[35](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] и ОСТ 45.190-2001 [[64](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], устанавливающие термины и определения понятий в области линейных сооружений магистральных и внутризоновых кабельных линий передачи и для оптических стыков цифровых волоконно-оптических систем передачи ВСС России.

# 3.4 Стандартизация параметров оптического стыка аппаратуры ВОСП

С появлением уже первых поколений ВОСП на сетях связи страны встал на повестку дня вопрос о нормировании, измерении и контроле новой группы параметров аппаратуры систем передачи - параметров оптического стыка [[65](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)].

**Нормирование**параметров оптического стыка осуществляется с целью установления допусков изменения их значений к концу срока службы при наихудшем сочетании климатических и других условий эксплуатации аппаратуры окончания оптического тракта.

**Измерения**параметров оптического стыка проводятся в процессе испытаний аппаратуры (с перерывом связи) при производстве, сертификации, вводе в эксплуатацию и проведении ремонтно-восстановительных работ.

**Контроль**основных параметров оптического стыка, если это возможно, осуществляется в процессе эксплуатации аппаратуры (без перерыва связи) с помощью встроенных средств эксплуатационного контроля К этим параметрам относятся уровни мощности оптического излучения на выходе передающего устройства и на входе приемного устройства аппаратуры окончания оптического тракта.

Типовая структурная схема участка оптического тракта ВОСП (для одного направления передачи) между соседними промежуточными пунктами приведена на рисунке 3.4. Для любого типа ВОСП эта схема представляет последовательное соединение: передающее устройство (ПдУ) - станционный оптический кабель (СОК) - линейный оптический кабель (ЛОК) - СОК - приемное устройство (ПрУ).На цифровом сетевом стыке аппаратуры окончания оптического тракта формируется цифровой электрический сигнал Еn(n=1,2,3,4) n-гоуровня Европейской ПЦИ, параметры которого определены в Рекомендации МСЭ-Т G.703, или цифровой электрический сигнал CTM-N, (N=1, 4, 16, 64, 256) N-гoуровня иерархии СЦИ, параметры которого определены в Рекомендации МСЭ-Т G.707.

Как видно из рисунка 3.4, параметры оптического стыка могут измеряться либо непосредственно на разъемных оптических соединителях аппаратуры окончания оптического тракта (Р1-уровень мощности оптического излучения на выходе ПдУ, Р2-уровень мощности оптического излучения на входе ПрУ), либо в точках соединения между СОК и ЛОК на передаче Пд и на приеме Пр.



Рис.3.4

В соответствии с разработанными ОСТ [16,54,64] нормирование параметров оптического стыка должно осуществляться именно в точках оптического тракта Пд (нормируемый уровень мощности Р1Н) и ПР (нормируемый уровень мощности Р2Н).

На рисунке 3.5 приведена структурная схема участка оптического тракта ВОСП (для одного направления передачи) в случае применения оптических усилителей (ОУ): ОУ1 - на передаче и ОУ2- на приеме [47], что характерно для современных ВОСП СЦИ (для N≥4).

ОУ1 и ОУ2 могут применяться как отдельные конструктивные элементы линейного оборудования ВОСП (плата оптических усилителей), либо конструктивно входить в состав аппаратуры окончания оптического тракта.



Рис. 3.5

В первом случае структурная схема участка оптического тракта представляет последовательное соединение: ПдУ-СОК-ОУ1-СОК-ЛОК-СОК-ОУ2-СОК-ПрУ, причем параметры оптического стыка могут измеряться либо непосредственно на выходе ПдУ (уровень мощности Р1) и входе ПрУ (уровень мощности Р2), либо на выходе ОУ1 (уровень мощности Р1) и входе ОУ2 (уровень мощности Р2 ), либо в точках соединения СОК и ЛОК на передаче ГПд (нормируемый уровень мощности Р1Н и приеме ГПР (нормируемый уровень мощности Р2н).

Во втором случае структурная схема участка оптического тракта представляет последовательное соединение: ПдОУ-СОК-ЛОК-СОК-ПрОУ, а параметры оптического стыка могут измеряться либо непосредственно на выходе ПдОУ (уровень мощности Р1) и входе ПрОУ (уровень мощности Р2 ), либо в точках ГПд и ГПр.

В соответствии с разработанным ОСТ [[54](http://rfcmd.ru/book_05/h3_2)] нормирование параметров оптического стыка в обоих случаях должно осуществляться в точках ГПд и ГПр.

Участок оптического тракта между точками ГПд и ГПР в отличие от схемы на рисунке 3.4 называется главным оптическим трактом (с точки зрения нормирования параметров оптического стыка). Отрезки участка оптического тракта, содержащие ОУ1 и ОУ2, называемые вспомогательными трактами [64], не являются определяющими для нормирования.

В общем случае между точками ГПд и ГПр может быть включена цепочка из нескольких промежуточных оптических усилителей ОУ3 [2]. Участок оптического тракта между ОУ определяется как элементарный кабельный участок (ЭКУ) [64]. При отсутствии промежуточных усилителей ЭКУ совпадает с участком регенерации ВОСП.

Одна из особенностей нормирования параметров оптического стыка связана с различием в требованиях к их нормированию для ВОСП ПЦИ и СЦИ [47], как уже отмечалось в[разделе 2.4](http://rfcmd.ru/book_05/h2_4).

Для ВОСП ПЦИ требуется лишь обеспечение так называемой продольной совместимости, т.е. возможности использования аппаратуры различных производителей в точке общего для них цифрового сетевого стыка по сигналу En (см. рис. 3.4). Предполагается при этом, что на разных концах участка оптического тракта ВОСП ПЦИ устанавливается аппаратура одного и того же производителя, который вправе выбирать любые технические решения и элементную базу при достижении того или иного значения перекрываемого затухания при той или иной скорости передачи. Другими словами, нормированию подвергаются параметры только цифрового сетевого стыка, а параметры оптического стыка являются как бы «рыночными», т.е. ориентированными на спрос рынка (стоимость реализации аппаратуры в совокупности с показателями по дальности, скорости передачи и качественными параметрами).

Тем не менее, при производстве, сертификационных испытаниях, вводе в эксплуатацию и ремонтно-восстановительных работах производятся измерения основных параметров оптического стыка с целью контроля их величин на соответствие значениям, приведенным в документации на аппаратуру.

К числу этих основных параметров относятся [[16](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]:

1. уровень мощности оптического излучения на передаче (Р1);
2. уровень чувствительности приемника (Р2min);
3. уровень перегрузки приемника (Р2max);
4. перекрываемое затухание.

Для ВОСП СЦИ с более универсальными возможностями для построения транспортной сети требуется уже обеспечение так называемой поперечной совместимости, т.е. возможности использования на концах участка оптического тракта аппаратуры различных производителей. Это требование привело к классификации оптических стыков по коду применения [[16, 54, 64](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)].

Кроме того, ориентация ВОСП СЦИ на увеличение пропускной способности и протяженности участка оптического тракта привела к необходимости нормирования большего числа параметров оптического стыка в пределах каждого кода применения.

Классификация оптических стыков по коду применения и параметры оптического стыка, которые необходимо нормировать для одноканальных ВОСП СЦИ без ОУ определены в [[16]](http://rfcmd.ru/book_05/literatura) для скоростей передачи, соответствующих для СТМ-1, СТМ-4 и СТМ-16.

При применении ОУ и более высокоскоростных ВОСП СЦИ со скоростью передачи, соответствующей СТМ-64, появляется необходимость ввода дополнительных кодов применения и нормирования дополнительных параметров, т.к. в этом случае начинают себя проявлять дополнительные факторы ограничения протяженности участка оптического тракта. Эти дополнительные коды применения и параметры определены в [54]. Каждый код применения, а их всего 36 для одноканальных ВОСП, соответствует определенному типу аппаратуры окончания оптического тракта (платы оптического стыка).

Синхронные мультиплексоры разных производителей устанавливаемые на разных концах участка регенерации ВОЛП, должны комплектоваться платами оптического стыка с одним и тем же кодом применения.

Требование обеспечения поперечной совместимости предопределяет определенный допуск на разброс величины отдельных параметров оптического стыка, например, для уровня мощности на передаче:
P1min<P1н< Р2max

Это может привести к неоправданно большому системному запасу, т.е. проектная протяженность участка оптического тракта может оказаться существенно ниже, чем могут позволить возможности применяемого оборудования. Для случаев применения оборудования одного производителя в пределах участка оптического тракта может быть использована аппаратура с «улучшенными параметрами оптического стыка», ориентированными на «единое техническое проектирование» [[54, 64](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)].

Другими словами, оборудование, реализованное на той же элементной базе, может быть ориентировано либо, на применение с соблюдением требований поперечной совместимости с соответствующими предельными значениями параметров оптического стыка но коду применения, либо, если это позволяют возможности элементной базы, на применение в условиях «единого проектирования» с отклонением от допусков некоторых параметров оптического стыка в сторону улучшения, например:

P1н> Р1max

P2н< P2min

В последнем случае в состав кода применения должен быть добавлен знак «ЕП», как определено в стандартах отрасли [[54, 64](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. Это означает, что при применении этого оборудования может быть достигнуто большее значение перекрываемого затухания, т.е. большая протяженность участка оптического тракта.

Еще большее число дополнительных параметров оптического стыка необходимо нормировать для ВОСП-СР. Изменяется и структура кода применения. Классификация и нормирование параметров оптического стыка для ВОСП-СР определены в [[54](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. На рисунке 3.6 приведена структурная схема участка оптического тракта ВОСП-СР (для одного направления передачи).

В отличие от структурных схем на рисунках 3.4 и 3.5 для одноканальных ВОСП на рисунке 3.6 для ВОСП-СР добавляются оптический мультиплексор (ОМ) по длинам волн вместе с ОУ1 на передаче и оптический демультиплексор (ОД) вместе с ОУ2 на приеме. Кроме того, добавляются транспондеры для преобразования оптических сигналов с целью их передачи по оптическим каналам.



Рис.3.6

В соответствии с разработанным стандартом отрасли [[54](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] нормирование параметров оптического стыка для ВОСП-СР должно осуществляться в точках оптического тракта Пдi, (уровни мощности Р11н) на передаче и Прi (уровни мощности Р12н) на приеме для каждой одноканальной ВОСП-i (i = l,...m) и в точках оптического тракта ГПд и ГПр для ВОСП-СР (см. рис.3.6).

Для измерения ряда параметров оптического стыка требуется дорогостоящее измерительное оборудование. Поэтому весь набор нормируемых параметров, определенных в [54, 64], измеряется в соответствии с [33] только при производстве и сертификации аппаратуры ВОСП.

При вводе в эксплуатацию и проведении ремонтно-восстановительных работ проводится измерение только уровней мощности оптического излучения на передаче (Р1н) и приеме (Р2н) на соответствие их нормам (см. рис. 3.4). определяются уровень чувствительности (P2min) и текущие значения уровней мощности на передаче (Р1) и приеме (Р2). Измеренные значения затем заносят в паспорт на линию передачи.

В процессе эксплуатации, как уже отмечалось выше, может проводиться контроль основных параметров оптического стыка P1 и Р2 без перерыва связи.

Периодическое сравнение контролируемых значений P1 и Р2 с их величинами, записанными в паспорт, позволяет обнаружить и контролировать развитие постепенного отказа в оптическом тракте ВОЛП без перерыва связи.

Система ВОСП-СР в основном нормируется по параметрам оптического стыка на входах и выходах в соответствии с ОСТ 45.104 [[16](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] и первой частью ОСТ 45.178 [[54](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] для одноканальных ВОСП. К нормируемым параметрам для каждого оптического канала дополнительно относятся:

* центральная частота (длина волны) оптического канала;
* расстояние между оптическими каналами;
* отклонение центральной частоты оптического канала;
* ширина линии излучения лазера.

Кроме того, к нормируемым параметрам оптического стыка на границах (ЭКУ) (они являются общими для всех оптических каналов) добавляются также:

1. отношение оптических сигнал/шум в каждом оптическом канале;
2. суммарная мощность оптического излучения, вводимая в ОВ;
3. перекрываемое затухание;
4. суммарная дисперсия;
5. оптическая переходная помеха между оптическими каналами;
6. максимум различия мощности в оптических каналах. Нормирование отношения оптических сигнал/шум осуществляется

исходя из того, чтобы привносимый в оптический тракт на участке регенерации ВОСП-СР из-за применения ОУ дополнительный шум не уменьшал это отношение ниже 20 дБ. Для обеспечения коэффициента ошибок не более 10-12 при регенерации цифровой последовательности достаточно обеспечения величины отношения оптических сигнал/шум на входе приемника 13 дБ, как показано в Рекомендации МСЭ-Т G.663. Запас в 7 дБ определен исходя из компенсации возможных дополнительных потерь, связанных со спецификой работы ВОСП-СР, допуска па которые, как уже отмечалось выше, сегодня в Рекомендациях МСЭ-Т пока еще не нормированы [[59](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. Поэтому величина отношения оптических сигнал/шум определяется в разработанном ОСТ 45.178 [54] нижеследующими выражениями на выходе ОУ1 после ОМ:

19 + х+ 10lgx;

 и на выходе k-того промежуточного ОУ:

19 + х-k+ 10 lg           ,

где: х - число ЭКУ на участке регенерации ВОСП-СР;

В разработанном ОСТ 45.178 [[54](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)] не допускается превышение суммарной мощности оптического излучения (Рcум). вводимого в ОВ,выше класса опасности 3В, что составляет для длины волны λ =1,55 мкм величину +27 дБм или 500 мВт [[58](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. Это определяет и верхний предел для мощности оптического излучения в каждом оптическом канале (Ркан) на входе ВОСП-СР:

Ркан = Рcум -10lg m,

где: m - число оптических каналов.

Параметры ОМ/ДМ и ОУ, определяющие специфику технологического решения не нормируются в ОСТ 45.178 [[54](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. Это - "ноу-хау" изготовителя аппаратуры. Главное - соблюдение поперечной совместимости по входам и выходам системы ВОСП-СР [[65](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)].С этой целью в ОСТ 45.178 классифицируется оптический стык по коду применения ВОСП-СР в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.692, определяющему число и протяженность ЭКУ, число оптических каналов и тип ОВ.

Что касается проблемы стандартизации методов измерения нормируемых параметров ВОСП-СР, то практически она решается в действующем ОСТ 45.131 [[33](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)], который был разработан для одноканальных ВОСП в развитии ОСТ 45.104 [[16](http://rfcmd.ru/book_05/literatura)]. Методики измерения уровня мощности и спектральных характеристик, приведенные в этом стандарте, применимы и для измерения дополнительного перечня нормируемых параметров для ВОСП-СР с использованием измерительных средств того же наименования: измеритель мощности и оптический анализатор спектра. Однако требования к этим средствам измерения уже должны быть другие.

[**4. ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛП НА СЕТЯХ ДОСТУПА**](http://rfcmd.ru/book_05/h4_1)

# 4.1 Архитектура и особенности развития сетей доступа

Разработка основных положений и принципов построения и применения оптических сетей доступа в документах и международных стандартах неразрывно связана с принципами организации ЦСИС на базе новых транспортных технологий: - асинхронного способа переноса, синхронной цифровой иерархии, спектрального разделения по длинам волн и др.

Сеть доступа - часть сети связи, обеспечивающая доставку сигналов (услуг связи) между пользователями и транспортной сетью.

Основное направление развития сетей доступа - цифровизация и увеличение пропускной способности с целью предоставления абонентам комплекса услуг, включая интерактивную цифровую высокоскоростную связь и услуги мультимедиа.

Развитие сетей доступа происходит по двум основным направлениям:

1. использование существующих кабельных сетей;
2. строительство новых оптических линий связи.

Использование  волоконно-оптических средств на сетях доступа позволяет реализовать:

1. организацию типовых телефонных (аналоговых или цифровых) каналов с меньшими капитальными затратами, чем на кабелях с медными жилами;
2. передачу по тем же оптическим волокнам программ кабельного телевидения;
3. создание цифровых сетей с интеграцией услуг, включая услуги мультимедиа.

При этом физический уровень технических средств сети доступа остается практически неизменным для любого варианта (капитальные затраты не меняются). Может увеличиваться только стоимость терминального оборудования и оплата услуг по мере увеличения их количества и качества. Это определяется огромной информационной избыточностью соединительных линий.

Другими словами, оптические сети доступа имеют возможность одновременного удовлетворения как потребителей, которым нужен традиционный телефонный аппарат, так и потребителей, которым требуется широкополосный канал, включая кабельное телевидение.
На рисунке 4.1 приведены различные варианты организации ОСД:



ВвД (FTTH)      - волокно вводится в дом (помещение индивидуального пользователя)
ВвК (FTTCab)  - волокно вводится в кабинет (оффис, учреждение)
ВвЗ (FTTB)       - волокно вводится в здание (к группе пользователей)
ВвШ (FTTC)      - волокно вводится в распределительный шкаф (перед одним или несколькими зданиями)
ОСО                  - оптическое сетевое окончание
СО                     - сетевое окончание
СУО                  - стык узла обслуживания (пункт доступа ТС или узел предоставления услуг)
ССП                  - стык сети пользователя

Рисунок 4.1

При построении оптических сетей доступа (ОСД) на ЕСЭ РФ следует учитывать мировой опыт развития: при строительстве в новых районах создавать полностью оптические сети доступа, а в районах с относительно развитой инфраструктурой связи модернизировать сеть на базе гибридных волоконно-коаксиальных сетей (ГВКС).

Проектирование и строительство ОСД может осуществляться при:

- телефонизации вновь строящихся районов;

- дополнительной телефонизации или создании сети кабельного телевидения;

-  создании локальных выделенных сетей, имеющих перспективу быть наложенными сетями.

На рисунке 4.2 приведена типовая конфигурация ОСД, которая включает:

1. оптическое линейное окончание (ОЛО);
2. оптический сетевой блок (ОСБ);
3. оптическая распределительная сеть (ОРС).

ОЛО является окончанием ОСД на станционной стороне (станции или узла предоставления услуг). ОЛО обеспечивает стык ОСД со стороны транспортной сети (стык узла обслуживания (СУО) или предоставления услуг), и оптический стык в точке Пд/Пр (стык пассивной оптической сети, СПО) с ОРС, например, на основе ПОС. ОЛО может подключаться к одной или нескольким ОРС.

ОСБ является окончанием ОСД на стороне абонента (пользователя). Он обеспечивает (непосредственно или на расстоянии) стык ОСД со стороны пользователя (стык сети пользователя) и оптический стык в точке Пд/Пр (СПО) с ОРС. Разновидностью ОСБ может являться окончание ОСД на стороне пользователя, применяемое в топологии ВвД и непосредственно выполняющее функцию порта пользователя. В этом случае ОСБ является оптическим сетевым окончанием (ОСО), как показано на рисунке 4.1. Характерным для ОСО в отличие от ОСБ является и то, что в нем оканчивается и канал управления системы управления ОСД.

ОРС обеспечивает средства оптической передачи от ОЛО к пользователям и обратно, состоит из пассивных оптических компонентов и выполняет следующие функции:

а) обеспечивает прямое оптическое соединение (возможность непосредственного обмена оптическими сигналами между ОЛО и ОСБ);

б) осуществляет оптическое разветвление в нисходящем (от ОЛО) потоке и объединение в восходящем (в ОЛО) потоке при помощи оптических разветвителей (см. далее рисунок 4.3);

в) обеспечивает возможность оптической многоволновой транспортировки (одновременную передачу по одному и тому же волокну сигналов на различных длинах волн в обоих направлениях передачи).



Рисунок 4.2

ОРС обеспечивает один или более оптических трактов между одним ОЛО и одним или более ОСБ. Каждый оптический тракт определяется между точками нормирования оптического стыка на передаче IIд и приеме Пр.

Как показано на рисунке 4.2, ОСД является системой между точками нормирования параметров стыка ССП (Т) и стыка СУО (V). ОРС относится к волоконной распределительной сети на базе пассивных оптических компонентов. ОСБ может подсоединяться к ССП через УС (устройство сопряжения) при реализации ГВКС, т.е. при передаче на последнем участке ОСД по цифровой абонентской линии по медным жилам. Для этого случая на рисунке 4.2 добавлена точка нормирования параметров стыка (а) между ОСБ и УС.

На ОСД должны быть предусмотрены точки доступа для оптических измерений и контроля. Эти точки могут быть расположены в ОЛО, ОСБ/ОСО, ОРС. Должно быть обеспечено сопряжение с системой управления электросвязи, через стык типа Q3, как показано на рисунке 4.2 и более подробно изложено в разделе 4.4.

На рисунке 4.3 показана структурная схема ОРС.



Рисунок 4.3

Сплошная линия обозначает одно или более оптических волокон. Пунктирная линия обозначает дополнительные резервные волокна. Два направления оптической передачи в ОРС определяются следующим образом:

1. нисходящее направление для сигналов, поступающих от ОЛО к одному или нескольким ОСБ;
2. восходящее направление для сигналов, поступающих от одного или нескольких ОСБ к ОЛО.

При передаче в нисходящем и восходящем направлениях могут использоваться одно и то же волокно и те же компоненты или разные волокна и компоненты.

Если для реконфигурации сети ОРС требуются дополнительные соединители или другие пассивные устройства, они должны располагаться между точками Пл и Пр, а их затухание следует учитывать при любых расчетах оптических потерь.

На рисунке 4.3 обозначены следующие оптические стыки:

- Осн, Осв - оптический стык в точке нормирования Пр/Пд между ОСБ и ОРС для нисходящего и восходящего направлений соответственно;

- Oлн, Oлв - оптический стык в точке нормирования Пд/Пр между ОЛО и ОРС для нисходящего и восходящего направлений соответственно.

Технические требования на параметры оптических стыков (Осн, Осв, Oлв, Oлн) определяются в РД 45.200-2001.

ОРС должна обеспечивать предоставление любой из предполагаемых услуг без необходимости проведения обширных изменений самой ОРС. Это требование влияет на свойства пассивных оптических компонентов, которые входят в состав ОРС. Ряд важных требований, непосредственно влияющих на оптические свойства ОРС, определяются следующим образом:

1. прозрачность по оптической длине волны: устройства, такие как оптические разветвители, которые не предназначены для выполнения функции выбора по длине волны, должны обеспечивать передачу сигналов на любой длине волны в диапазонах 1310 нм и 1550 нм;
2. обратимость: изменение направления на обратное входных и выходных портов не должно вызывать значительных изменений оптических потерь компонентов ОРС;
3. совместимость с волокном: все оптические компоненты должны быть совместимы с одномодовым кабелем, хотя на ОРС возможно применение и многомодового кабеля.

ОРС состоит из пассивных оптических элементов - компонентов ОСД, рассмотренных в разделе 4.2.

Для увеличения перекрываемого затухания в оптическом тракте ОСД могут применяться оптические усилители с параметрами по РД 45.186-2001. Пример использования ОУ в составе оптического тракта ОРС в нисходящем направлении показан на рисунке 4.4. Как показано на рисунке, в общем случае могут применяться три типа ОУ:

1. ОУ1 - оптический усилитель передачи;
2. ОУ2 - оптический усилитель приема;
3. ОУ3 - промежуточный (линейный) усилитель.

Использование ОУ позволяет компенсировать дополнительные потери в оптическом тракте, характерные для ОСД, которые связаны с большим количеством ответвлений части мощности оптического излучения в оптических разветвителях. ОУ рекомендуется устанавливать в одном помещении (или месте размещения) с другим оборудованием ОСД, например, ОУ1 вместе с оборудованием ОЛО, а ОУ2 вместе с оборудованием ОСБ, что позволит более рационально решать вопросы электропитания и технического обслуживания.

Вместе с тем, применение ОУ может привести к необходимости соблюдения мер безопасности в соответствии с Р 45.07-2001.

Допустимые потери оптического тракта ОСД определяются как потери между точками Пд/Пр и Пр/Пд (рисунок 4.3). Они включают в основном, километрические потери на затухание в оптическом волокне и потери в пассивных оптических компонентах ОРС (соединители, сростки, разветвители. и т.д.).



Рисунок 4.4

# 4.2 Перечень волоконно-оптических средств

Весь перечень волоконно-оптических средств - компонентов ОСД может быть разделен па квантовые активные и оптические пассивные. К активным компонентам относятся:

- оптические источники излучения, обеспечивающие передачу оптических сигналов;

- оптические источники излучения, предназначенные для осуществления оптической накачки в ОУ;

- ОУ, обеспечивающие оптическое усиление при передаче информационных оптических сигналов;

- транспондеры (ТР), обеспечивающие преобразование входных оптических сигналов, поступающих в широком диапазоне длин волн, например, в пределах второго окна прозрачности (1260 - 1340 нм) или в пределах третьего окна прозрачности (1480 - 1580 нм), в выходные оптические сигналы конкретных оптических каналов ВОСП-СР с параметрами по РД 45.286-2002;

- оптические коммутаторы, предназначенные для коммутации входных оптических сигналов по заданному алгоритму.

К пассивным компонентам относятся:

- оптические разветвители (без разделения подлине волны);

- оптические аттенюаторы;

- оптические фильтры (фиксированные);

- настраиваемые (регулируемые) оптические фильтры;

- оптические изоляторы;

- оптические переключатели;

- пассивные компенсаторы дисперсии;

- оптические окончания;

- оптические соединители разъемные;

- оптические соединители неразъемные (сростки);

- оптические мультиплексоры и демультиплексоры по длине волны;

- оптические волокна.

Подробно рассматриваются пассивные компоненты ОСД и их основные характеристики в Рекомендации МСЭ-Т G.671.

Принципы работы ОУ и ВОСП-СР изложены в Приложениях 3 и 4 соответственно.

# 4.3 Классификация систем оптического доступа

Классификация ОСД по емкости или пропускной способности осуществляется в зависимости от числа ОЦК с пропускной способностью 64 кбит/с (В).

В зависимости от емкости (пропускной способности) ОСД сетевые оптические блоки могут быть трех классов:

1. класс 1 - по крайней мере, 2В;
2. класс 2 - по крайней мере, 32В;
3. класс 3 - по крайней мере, 64В.

При этом не учитываются каналы управления и сигнализации, если передаются с ОЦК.

Все три класса ОСБ могут быть применены в любой из сетевых топологий ВвД, ВвК, ВвЗ и ВвШ, показанных на рисунке 4.1.

Классы ОСБ определяются максимумом потребностей на стороне пользователя ОСБ.

В зависимости от емкости (пропускной способности) ОСД подразделяются на два типа:

1. тип 1 - по крайней мере 4 стыка ОРС с суммарной емкостью 800В и емкостью каждого стыка ОРС по крайней мере 200В;
2. тип 2 - по крайней мере 4 стыка ОРС с суммарной емкостью 800В и емкостью каждого стыка ОРС по крайней мере 100В.

Предельные протяженности оптического волокна с учетом коэффициента разветвлений для ОСД различного типа приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Протяженность | ОСД типа 1 | ОСД типа 2 |
| 20 км | отношение разветвления, по крайней мере, 16 | отношение разветвления, по крайней мере, 8 |
| 10 км | отношение разветвления, по крайней мере, 32 | отношение разветвления, по крайней мере, 16 |

В зависимости от диапазона потерь в оптическом тракте ОРС могут быть трех классов:

1. класс А - от 5 до 20 дБ;
2. класс В - от 10 до 25 дБ;
3. класс С - от 15 до 30 дБ.

Для архитектур точка-точка, не содержащих оптические разветвители, суммарные оптические потери могут быть не более 5 дБ.

# 4.4 Система контроля и управления

Система контроля и управления проектируемой ОСД должна быть организована на основе принципов построения и организации систем технической эксплуатации и управления, изложенных в разделе 1.

Все объекты технической эксплуатации ОСД, к которым могут быть отнесены: ОСО, ОСБ и ОЛО, реализуемые на базе современных инфотелекоммуникационных технологий, по существу являются управляемыми объектами, т.к. в них доминирующим является управляемое техническое обслуживание, а система управления полностью соответствует принципам сети управления электросвязи (СУЭ). Поэтому в СУЭ для ОСД по существу основные элементы ОСД: ОСО, ОСБ и ОЛО являются сетевыми элементами (СЭ).

Контроллеры, входящие в состав этих СЭ, по существу выполняют функции агента и/или менеджера и осуществляют сопряжение с СУЭ через стык управления и контроля ОСО по каналу управления и контроля ОСО.

СУЭ для ОСД должна функционировать на двух уровнях:

1. сетевом, т.е. управление ОСД;
2. элементов, т.е. управление СЭ.

На этих двух уровнях в СУЭ должны выполняться следующие основные операции:

1. доступ в систему управления;
2. конфигурирование;
3. сигнализация и регистрация аварийной информации;
4. контроль качества.

Каналы управления и контроля образуют сеть передачи данных для связи между СЭ, операционными системами и другими компонентами СУЭ через стык типа Q3 (рисунок 4.2).

На аппаратном уровне в СУЭ ОСД входят рабочая станция (специализированный компьютер), местные терминалы (персональные компьютеры) и контроллеры в ОСО, ОСБ и ОЛО. На программном уровне СУЭ ОСД включает операционную систему для рабочей станции (PC) и специальное программное обеспечение для местного терминала (МТ). Взаимодействие технического персонала с СУЭ осуществляется через стык типа F между PC, МТ и любым из СЭ.

Техническая эксплуатация ОРС на этапах проектирования, ввода в эксплуатацию, технического обслуживания при эксплуатации и ремонтно-восстановительных работ должна осуществляться по РД 45.047-99 и РД 45.180-2001.

# 4.5 Перспективы оптиковизации сетей доступа

В настоящее время во всем мире наблюдается последовательная фотонизация волоконно-оптических средств связи, охватывающая как транспортную сеть, так и сети доступа.

Сущность фотонизации заключается в том, что на физическом уровне во всех звеньях цепи передачи исключается преобразование типа фотон-электрон и электрон-фотон. Это дает возможность на несколько порядков увеличить скорость передачи сигнала, значительно увеличить протяженность участка линии передачи между соседними промежуточными пунктами благодаря уменьшению шумов за счет тепловой компоненты, а также существенно повысить технико-экономические показатели оборудования и его надежность в результате исключения электронно-оптических преобразователей.

Реализация преимуществ фотонизации приводит к изменению сетевых структур, в частности, принципов коммутации и маршрутизации сигналов.

Для реализации транспортной системы, которая выполняет функции кросс - коннекции (кроссовых соединений, оперативного переключения) и мультиплексирования ввода-вывода, предлагается много технологий. Особый интерес представляет собой сеть, в которой применяется маршрутизация по длине волны, многократное использование длин волн, пакетное переключение с многократными пересылками сигнала. В этом случае оптический транспортный узел может состоять из оптического кросс-коннектора и оптического мультиплексора ввода/вывода. Каждая станция доступа преобразует сигналы, полученные от пользователей, в соответствующий оптический формат и передает эти сигналы на транспортный узел.

На рис. 4.5 показан возможный вариант построения фотонной сети. Сеть состоит из оптических транспортных узлов и узлов доступа, имеющих порты для связи пользователей с сетью. Оптический транспортный узел выполняет функции образования и распределения оптических трактов между произвольными узлами доступа. Транспортные узлы соединены оптическими линиями передачи с оптическими усилителями. Например, оптический тракт "точка-к-точке", такой как 1-6 или 4-7, и распределительный тракт, такой как 2-3-5-8, может быть реализован без оптоэлектронного преобразования. Конфигурация сети должна динамично изменяться, чтобы удовлетворять требованиям трафика.

Повышенный интерес к фотонным сетям обусловлен следующими причинами.

1  Для предоставления постоянно расширяющегося спектра широкополосных услуг постоянно увеличивающемуся количеству пользователей и функционирования интерактивных служб мультимедиа необходимы сверхскоростные линии и системы передачи и сверхскоростное оборудование коммутации. Однако, это невозможно осуществить при электронных методах обработки сигнала даже при использовании таких прогрессивных методов передачи сигнала как СЦИ и ATM, т.к. быстродействие электронных коммутаторов, схем и компонентов подошло к своему пределу, составляющему десятки пикосекунд, что не позволяет обеспечить передачу требуемых информационных потоков с заданным качеством.

2 Появление оптических технологий, на базе которых могут развиваться системы оптической коммутации, оптические усилители, селективные оптические фильтры, пассивные оптические разветвители, оптическое временное мультиплексирование/демультиплексирование (OTDM), мультиплексирование по длине волны или спектральное разделение, пакетное переключение с многократными пересылками и т.д., позволяет постепенно перейти к полностью оптической обработке сигнала и создать оптические среды с колоссальной пропускной способностью.

Таким образом, фотонные сети позволяют создать гибкие сети с ультравысокой пропускной способностью, имеющие возможность модульно расширяться до очень больших конфигураций, как в плане технических средств, так и программного обеспечения. Кроме того, они очень высоконадежны и просты в отношении контроля, управления и технического обслуживания, т.к. часть пропускной способности этих сетей без всякого ущерба для передаваемого трафика может быть использована для системы контроля и управления.



Рис. 4.5

На рисунке 4.6 приведена в качестве примера схема элементарного соединения, не содержащего во всей цепи передачи ни одного оптоэлектронного преобразователя.



АОМ - акусто оптический модулятор
ОАД - оптикоакустический детектор
ОП - оптический переключатель с управлением оптическим сигналом
ОВ - оптическое волокно
ОУ- оптический усилитель

Рис. 4.6

Следовательно, при разработке стратегии развития государственных и частных сетей доступа необходимо иметь ввиду стремительную фотонизацию всех элементов связи и исходить из соображений преемственности этапов внедрения.

В настоящее время на ОРС рекомендуется использовать рабочий диапазон длин волн в области 1310 нм в пределах 1260 - 1380 нм (второе окно прозрачности) и в области 1550 нм в пределах 1480 - 1580 нм (третье окно прозрачности).

Однако, постоянное совершенствование оптических волокон (ОВ) вносит в перспективу оптиковизации сетей доступа коррективы. Во-первых, постоянное уменьшение цены стандартных одномодовых ОВ (за последние 5-7 лет с 50 до 15$ за км) заметно приближает эту перспективу. Например, в Японии планируется до 2005 года обеспечить за счет ввода ОВ в дома (ВвД) предоставление услуг населению в объеме 10 Мбит/с для 30 млн. домов и объеме 100 Мбит/с для 10 млн. домов.

Во-вторых, появление новых ОВ типа «all wave» (например, SMF-28e фирмы Corning) существенно расширит рабочий диапазон длин волн в пределах от 1260 до 1625 нм, позволяя применять технологию неплотного спектрального разделения по длинам волн (CWDM) с реализацией на дешевых компонентах ВОСП. При этом резко увеличиваются возможности по пропускной способности ОСД и по другим, сетевым возможностям ВОСП-СР.

Многоканальные плотные ВОСП-СР (DWDM) в перспективе могут реализовываться и на современных многомодовых ОВ, если потребуется уплотнять большое число каналов с относительно невысокой скоростью передачи в каждом канале. В этом случае используется преимущество многомодовых ОВ по сравнению с одномодовыми, связанные с более высоким порогом возникновения влияния нелинейных оптических эффектов.

Кроме того, в перспективе ожидается внедрение на ОСД пластиковых ОВ, имеющих еще пока достаточно большое затухание, но значительно меньшую стоимость, чем у ОВ на основе кварцевого стекла.

# ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Е.Б. «Основы технической эксплуатации современных волоконно-оптических систем передачи». Учебное пособие, ИПК МТУСИ, М. 1998 г.
2. Алексеев Е.Б. Особенности технической эксплуатации волоконно-оптических систем передачи и сетей синхронной цифровой иерархии. Учебное пособие. - ИПК при МТУСИ, ЗАО «Информсвязьиздат», М.,1999. - 183 с.
3. Алексеев Е.Б. Принципы построения и технической эксплуатации фотонных сетей связи. Учебное пособие.- ИПК при МТУСИ, ЗАО «Информсвязьиздат», М.,2000- 69 с.
4. Алексеев Е.Б. Менеджмент предприятий электросвязи. Конспект лекций для дистанционного обучения - ЗАО «Информсвязьиздат», М., 2002. -65 с.
5. Скляров O.K. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы. СОЛОН-Р, М. 2001 - 237 с.
6. РД «Основные положения развития взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года», кн. 1,2, М. 1996 г.
7. РД «Правила технической эксплуатации первичной сети взаимоувязанной сети связи Российской Федерации», кн. 1,2, М. 1998 г.
8. Руководящий технический материал по применению систем и аппаратуры синхронной цифровой иерархии на сети связи Российской Федерации. ЦНИИС, 1994 г. Принято Решением ГКЗС от 5.03.94 г. N 74.
9. РТМ по построению тактовой сетевой синхронизации на цифровой сети связи Российской Федерации. ЦНИИС, 1995 г. Принято Решением ГКЭС России от 1.11.95 г. N 133.
10. Алексеев Е.Б., Заркевич Е.А., Макеев О.Н., Устинов С.А. Концепция развития современных высокоскоростных ВОСП, Электросвязь, 1996, №9.
11. Москвитин В.Д. «От взаимоувязанной сети связи к единой сети электросвязи России», Вестник связи, 2003 г. № 8.
12. Меккель A.M. «Тенденции развития транспортных сетей связи», Груды международной академии связи, 1997, №4.
13. Ким Л.Т. Создание транспортной системы на сети связи России, Электросвязь, 1993 г., №11.
14. Зурман А.Р Практика проектирования сетей с оборудованием синхронной цифровой иерархии, Электросвязь, 1997 г., №1.
15. Нетес В.А. Основные принципы организации самозалечивающихся сетей на основе синхронной цифровой иерархии, Электросвязь, 1995г., №12.
16. [OCT 45.104-97](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_104-97.htm)"Стыки оптические систем передачи синхронной цифровой иерархии. Классификация и основные параметры".
17. "Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризоновых первичных сетей". Введены в действие приказом Минсвязи России от 10.08.96 г. N 92.
18. Временная инструкция по эксплуатации ЦСП СЦИ, М, 1997г.
19. Инструкция по паспортизации волоконно-оптических линий связи с использованием ЦСП СЦИ, М., 1997г.
20. РД 45.095-94 «Технические требования на аппаратуру линейного тракта ЦСП плезиохронной цифровой иерархии по оптическому кабелю для городских телефонных сетей».
21. РД 45.085-97 «Технические требования на аппаратуру волоконно-оптического цифрового линейного тракта плезиохронной цифровой иерархии для первичной сети общего пользования».
22. Бакланов И.Г., Батулин Г.И. Комплексные измерения на сетях синхронной цифровой иерархии (SDH), Электросвязь, 1995 г., №12.
23. Алексеев Е.Б. Особенности внедрения ВОСП на ЕСС РФ, Вестник связи, 1995, №2.
24. Алексеев Е.Б. Надежность ВОСП, методика инженерного расчета и проектирования, Вестник связи, 1996 г., №5.
25. [ОСТ 45.63-96](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_63-96.htm) "Обеспечение надежности средств электросвязи. Основные положения".
26. [ОСТ 45.64-96](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_64-96.htm) "Организация ремонта средств электросвязи. Основные положения".
27. ОСТ 45.65-96 "Методика расчета среднего времени восстановления оборудования электросвязи".
28. [ОСТ 45.66-96](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_66-96.htm)"Запасные части, инструменты и принадлежности средств электросвязи. Общие требования".
29. ГОСТ 26886-86 "Стыки цифровых каналов передачи и групповых трактов первичной сети ЕАСС. Основные параметры".
30. [ОСТ 45.90-96](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_90-96.htm) "Стыки цифровых каналов и групповых трактов первичной сети взаимоувязанной сети связи Российской Федерации. Методы испытания основных параметров".
31. ОСТ 45.91-96 "Измерители показателей ошибок в цифровых каналах и трактах передачи. Технические требования. Методы испытаний".
32. ГОСТ 28871-90 "Аппаратура линейных трактов цифровых волоконно-оптических систем передачи. Методы измерения основных параметров".
33. [ОСТ 45.131-98](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_131-99.htm) . Стык оптический систем передачи СЦИ. Методы испытаний основных параметров.
34. ОСТ 45-119-98 Пункты регенерационные волоконно-оптических линий передачи. Общие требования безопасности.
35. [ОСТ 45.121-97](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_121-97.htm) Линии передачи кабельные магистральные и внутризоновые. Сооружения линейные. Термины и определения.
36. ГОСТ Р 50723-94 «Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий».
37. Алексеев Е.Б. Особенности эксплуатации ВОСП и пути повышения качества их функционирования, Электросвязь, 1997 г., №5.
38. Алексеев Е.Б., Желнов В.А. «О некоторых проблемах стандартизации в области технической эксплуатации ВОСП на современном этапе развития ВСС РФ», «Метрология и измерительная техника в связи», 1999 г., № 1.
39. Алексеев Е.Б. Концепция технической эксплуатации ВОСП на современном этапе развития ЕСС РФ, Электросвязь, 1998, №1.
40. Алексеев Е.Б. Метод расчета эффективности мероприятий по повышению надежности ВОСП, Телевестник, 1998 г., №1.
41. Концепция восстановления волоконно-оптических линий передачи в чрезвычайных ситуациях, ОАО «Ростелеком», М. 1998 г.
42. Типовая инструкция по восстановлению ВОЛП-ВЛ в чрезвычайных ситуациях, ОАО «Ростелеком», М. 1999 г.
43. Типовая инструкция по восстановлению НРП ВОЛП в чрезвычайных ситуациях, ОАО «Ростелеком», М. 1999 г.
44. Типовая инструкция по восстановлению системы электропитания и электроснабжения НРП ВОЛП в чрезвычайных ситуациях, ОАО «Ростелеком», М. 1999 г.
45. Типовая инструкция по восстановлению оптического кабеля ВОЛП в чрезвычайных ситуациях, ОАО «Ростелеком», М. 1999 г.
46. РД 45.003-97 «Применение аппаратуры гибких мультиплексоров на сети связи в системах передачи плезиохронной цифровой иерархии».
47. РД 45.047-99 «Линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризоновых первичных сетях ЕСС России. Техническая эксплуатация» Руководящий технический материал. М., ООО «Резонанс», 2000 г.
48. РД 45.200-2001 «Применение волоконно-оптических средств на сетях доступа - Руководящий технический материал».
49. РД 45.100-2000 «Аппаратура волоконно-оптического линейного тракта плезиохронной цифровой иерархии». Технические требования.
50. [РД 45.036-99](http://rfcmd.ru/sphider/docs/RD/RD_45_036-99.htm) «Технические требования на аппаратуру атмосферного оптического цифрового линейного тракта плезиохронной цифровой иерархии».
51. [РД 45.186-2001](http://rfcmd.ru/sphider/docs/RD/RD_45_186-2001.htm) «Аппаратура волоконно-оптических усилителей для применения на взаимоувязанной сети связи Российской Федерации. Технические требования».
52. РД 45.059-99 «Аппаратура системы передачи синхронной цифровой иерархии. Технические требования».
53. РД 45.028-99 «Аппаратура системы мониторинга оптических кабелей сетей связи. Технические требования».
54. [ОСТ 45.178-2000](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_178-2001.htm) «Системы передачи с оптическими усилителями и спектральным уплотнением. Стыки оптические. Классификация и основные параметры».
55. РД 45.173-2000 «Указания по проведению измерений на аппаратуре цифровых систем передачи».
56. [РД 45.180-2001](http://rfcmd.ru/sphider/docs/RD/RD_45_180-2001.htm) «Руководство по проведению планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ на линейно-кабельных сооружениях связи волоконно-оптической линии передачи» М., ООО «Резонанс», 2001г.
57. РД 45.163-2000 «Инструкция по ведению производственной документации на первичных сетях ЕСС РФ».
58. Р 45.07-2001 «Рекомендации по безопасной работе с источниками оптического излучения, используемыми в оптических системах передачи на всех участках взаимоувязанной сети связи Российской Федерации».
59. Алексеев Е.Б. «Стандартизация параметров и перспективы внедрения ВОСП со спектральным разделением каналов», «Метрология и измерительная техника в связи», № 1, 2002 г.
60. [ОСТ 45.179-2001](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_179-2001.htm) Электроустановки необслуживаемого регенерационного пункта волоконно-оптической линии передачи стационарные. Общие технические требования
61. [ОСТ 45.183-2001](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_183-2001.htm) Установки электропитания аппаратуры электросвязи стационарные. Общие технические требования
62. [РД 45.195-2001](http://rfcmd.ru/sphider/docs/RD/RD_45_195-2001.htm) Применение транспортных технологий связи, использующих в качестве среды передачи оптическое волокно
63. [РД 45.286-2002](http://rfcmd.ru/sphider/docs/RD/RD_45_286-2002.htm)Аппаратура волоконно-оптической системы передачи со спектральным разделением
64. [ОСТ 45.190-2001](http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/GOST/OST_45_190-2001.htm)Системы передачи волоконно-оптические. Стыки оптические. Термины и определения
65. Алексеев Е.Б. Особенности нормирования, измерения и контроля параметров оптического стыка ВОСП, «Метрология и измерительная техника в связи», 2000г, №5.
66. Алексеев Е.Б. Оптимизация решений при проектировании и организации технической эксплуатации ВОСП по критерию надежности, Электросвязь, 2002 г., № 6.
67. Алексеев Е.Б. Транспортные сети СЦИ. Проектирование, техническая эксплуатация и управление. Учебное пособие. - ИПК при МТУСИ, Оргсервис ЛТД, М., 2003 г.
68. Алексеев Е.Б. Нормативная база для решения задачи повышения качества функционирования современных ВОСП, «Метрология и измерительная техника в связи», 2003 г., № 2.
69. Рекомендация МСЭ-Т G.650 Определение и методы проверки параметров одномодовых волоконно-оптических кабелей.
70. Рекомендация МСЭ-Т G.652 Характеристики одномодового волоконно-оптического кабеля.
71. Рекомендация МСЭ-Т G.653 Характеристики одномодового волоконно-оптического кабеля со сдвигом дисперсии.
72. Рекомендация МСЭ-Т G.654 Характеристики одномодового волоконно-оптического кабеля с затуханием, минимизированным на волне 1550 мкм.
73. Рекомендация МСЭ-Т G.655 Характеристики одномодового волоконно-оптического кабеля с ненулевой дисперсией.
74. Рекомендация МСЭ-Т G.661 Определение и методы испытаний основных параметров оптических усилителей.
75. Рекомендация МСЭ-Т G.662 Основные характеристики приборов и подсистем на базе оптических усилителей.
76. Рекомендация МСЭ-Т G.663 Аспекты применения приборов и подсистем на базе оптических усилителей.
77. Рекомендация МСЭ-Т G.664 Процедуры, обеспечивающие оптическую безопасность, и требования для оптических транспортных сетей
78. Рекомендация МСЭ-Т G.671 Характеристики передачи пассивных оптических блоков.
79. Рекомендация МСЭ-Т G.691 Оптические стыки для одноканальных систем с оптическими усилителями.
80. Рекомендация МСЭ-Т G.692 Оптические стыки для многоканальных систем с оптическими усилителями.
81. Рекомендация МСЭ-Т G.703 Физические и электрические характеристики иерархических цифровых стыков.
82. Рекомендация МСЭ-Т G.704 Синхронные структуры циклов для первичного и вторичного иерархических уровней. Новая редакция: Синхронные структуры циклов для иерархических уровней на 1544, 6312, 2048, 8448 и 44736 кбит/с.
83. Рекомендация МСЭ-Т G.706 Процедуры цикловой синхронизации и циклического контроля по избыточности (CRC), относящиеся к основным структурам циклов, определенным в Рек. G.704.
84. Рекомендация МСЭ-Т G.707 Стык сетевого узла для синхронной цифровой иерархии.
85. Рекомендация МСЭ-Т G.708 Стыки сетевых узлов синхронной цифровой иерархии со скоростью ниже СТМ-0.
86. Рекомендация МСЭ-Т G.771 Стыки Q и связанные с ними протоколы для аппаратуры передачи в свете управления электросвязью (TMN).
87. Рекомендация МСЭ-Т G.772 Защищенные контрольные точки, предусмотренные в цифровых системах передачи.
88. Рекомендация МСЭ-Т G.773 Комплект протоколов для Q интерфейсов для управления системами передачи.
89. Рекомендация МСЭ-Т G.774 Информационная модель СЦИ как элемент сети.
90. Рекомендация МСЭ-Т G.775 Потеря сигнала и сигнал индикации аварийного состояния, определение дефекта и критерий устранения повреждения.
91. Рекомендация МСЭ-Т G.780 Словарь терминов для сетей и аппаратуры синхронной цифровой иерархии.
92. Рекомендация МСЭ-Т G.783 Характеристики функциональных блоков аппаратуры СЦИ.
93. Рекомендация МСЭ-Т G.784 Управление синхронной цифровой иерархией.
94. Рекомендация МСЭ-Т G.785 Характеристики гибкого мультиплексора в СЦИ.
95. Рекомендация МСЭ-Т G.802 Взаимодействие между сетями, построенными на различных цифровых иерархиях и законах кодирования речевых сигналов.
96. Рекомендация МСЭ-Т G.803 Архитектуры транспортных сетей на базе СЦИ.
97. Рекомендация МСЭ-Т G.810 Термины и определения, относящиеся к синхронизации сетей.
98. Рекомендация МСЭ-Т G.811 Требования к хронированию на выходах первичных эталонных задающих генераторов, пригодных для обеспечения плезиохронной работы международных цифровых трактов.
99. Рекомендация МСЭ-Т G.812 Требования к хронированию на выходах ведомых задающих генераторов, пригодных для плезиохронной работы международных цифровых трактов.
100. Рекомендация МСЭ-Т G.813 Временные характеристики хронирующего источника аппаратуры СЦИ.
101. Рекомендация МСЭ-Т G.82I Характеристика ошибок на международном цифровом соединении, образуемом в цифровой сети с интеграцией служб.
102. Рекомендация МСЭ-Т G.822 Нормы на частость управляемых проскальзываний на международном цифровом соединении.
103. Рекомендация МСЭ-Т G.823 Нормирование дрожания и дрейфа фазы в цифровых сетях, основанных на иерархии 2048 кбит/с.
104. Рекомендация МСЭ-Т G.825 Нормирование дрожания и дрейфа фазы в цифровых сетях, основанных на базе СЦИ.
105. Рекомендация МСЭ-Т G.826 Показатели ошибок и нормы для цифровых международных трактов с постоянной скоростью передачи, равной или превышающей первичную скорость.
106. Рекомендация МСЭ-Т G.827 Параметры готовности и нормы для элементов международных цифровых трактов, работающих на постоянной скорости передачи, равной или превышающей первичную скорость.
107. Рекомендация МСЭ-Т G.828 Нормы на параметры ошибок международных СЦИ постоянной скорости
108. Рекомендация МСЭ-Т G.829 Параметры ошибок мультиплексных и регенерационных секций СЦИ
109. Рекомендация МСЭ-Т G.831 Возможности управления транспортными сетями, основанными на синхронной цифровой иерархии (СЦИ).
110. Рекомендация МСЭ-Т G.832 Передача сигналов СЦИ по сетям ПЦИ. Структура цикла и мультиплексирование
111. Рекомендация МСЭ-Т G.841 Типы и характеристики сетевого резервирования СЦИ.
112. Рекомендация МСЭ-Т G.842 Сетевое резервирование в связанных сетях СЦИ
113. Рекомендация МСЭ-Т G.911 Характеристики и методология расчета надежности и готовности волоконно-оптических систем.
114. Рекомендация МСЭ-Т G.955 Цифровые линейные системы, базирующиеся на иерархии 1544 кбит/с и 2048 кбит/с, на волоконно-оптических кабелях.
115. Рекомендация МСЭ-Т G.957 Оптические стыки для аппаратуры и систем передачи, относящихся к СЦИ.
116. Рекомендация МСЭ-Т G.958 Цифровые линейные системы, базирующиеся на СЦИ и предназначенные для работы на оптиковолоконных кабелях.
117. Рекомендация МСЭ-Т G.971 Характеристики систем, работающих на волоконно-оптических подводных кабелях без регенераторов.
118. Рекомендация МСЭ-Т G.973 Характеристики систем без регенераторов на волоконно-оптическом подводом кабеле.
119. Рекомендация МСЭ-Т G.974 Характеристики регенераторов систем на волоконно-оптических подводных кабелях.
120. Рекомендация МСЭ-Т G.975 Упреждающая коррекция ошибок в системах на волоконно-оптическом подводном кабеле.
121. Рекомендация МСЭ-Т G.976 Методы испытания, применяемые к волоконно-оптическим системам передачи на подводном кабеле.
122. Рекомендация МСЭ-Т К-41 Защита от перенапряжений стыков сетевых узлов.
123. Рекомендация МСЭ-Т М.20 Концепция технической эксплуатации сетей электросвязи.
124. Рекомендация МСЭ-Т М.2100 Допустимые пределы показателей ошибок при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных цифровых трактов, участков и систем передачи.
125. Рекомендация МСЭ-Т М.2101 Допустимые пределы показателей ошибок при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных трактов СЦИ и секций мультиплексирования.
126. Рекомендация МСЭ-Т М.2110 Ввод в эксплуатацию международных цифровых трактов, участков и систем передачи.
127. Рекомендация МСЭ-Т М.2120 Процедуры обнаружения и локализации отказов цифрового тракта, участка и системы передачи.
128. Рекомендация МСЭ-Т М.2130 Эксплуатационные процедуры по локализации и устранению отказов передачи.
129. Рекомендация МСЭ-Т М.3010 Принципы организации сети управления электросвязью (TMN).
130. Рекомендация МСЭ-Т М.3200 Обзор услуг управления сети TMN.
131. Рекомендация МСЭ-Т М.3400 Функции управления сети TMN.
132. Рекомендация МСЭ-Т М.60 Термины и определения, относящиеся к технической эксплуатации.
133. Рекомендация МСЭ-Т М.80 Главные руководящие станции.
134. Рекомендация МСЭ-Т М.90 Вспомогательные руководящие станции.
135. Рекомендация МСЭ-Т 0.150 Основные требования для измерителей качественных показателей цифровой аппаратуры передачи.
136. Рекомендация МСЭ-Т 0.151 Аппаратура для измерения показателей ошибок в цифровых системах на первичной скорости передачи и выше.
137. Рекомендация МСЭ-Т 0.152 Измерительная аппаратура для скоростей передачи 64 кбит/с и N х 64 кбит/с.
138. Рекомендация МСЭ-Т 0.171 Аппаратура для измерения дрожания и дрейфа фазы в цифровых системах, основанных на плезиохронной цифровой иерархии.
139. Рекомендация МСЭ-Т 0.172 Аппаратура измерения фазового дрожания и дрейфа тактовых сигналов в цифровых системах, основанных на синхронной цифровой иерархии.
140. Рекомендация МСЭ-Т 0.181 Аппаратура оценки показателей ошибок на стыках CTM-N.
141. Проект Рекомендации МСЭ-Т O.qfm Измеритель Q-фактора для контроля качества передачи в оптических каналах.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Рекомендации по выбору рабочей длины волны и типов оптич. кабеля для одноканальных ВОЛП без оптических усилителей

#### П1.1. Диапазоны рабочих длин волн, определяемые затуханием в волокне

На рисунке П1.1 приведена типовая спектральная характеристика коэффициента затухания ОК. Здесь учтены потери на сращивание при прокладке ОК и при ремонте, обусловленные диапазоном рабочих температур. В соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.652 значения затухания равны 0,3 - 0,4 дБ/км в оптическом диапазоне 1310 нм и 0,15 -0,25 дБ/км в оптическом диапазоне 1550 нм.



Рис. П1.1 - Спектральная типовая характеристика коэффициента затухания ОК

Диапазоны длин волн, указанные в таблице 2.4 ОСТ 45.104, были подтверждены данными, полученными от изготовителей волокна, совместно с учетом общих допусков, связанных с изготовлением ОК, со сращиванием при прокладке и ремонте и с рабочим диапазоном температур.

Следовательно, следующие значения эталонного максимального коэффициента затухания считаются подходящими только для расчета систем при проектировании: 3,5 дБ/км для внутристанционных соединений (код применения I-N), 0,8 дБ/км для линий передачи небольшой протяженности (код применения S-N.x), 0,5 дБ/км для систем большой протяженности (код применения L-N.x) на рабочей длине волны 1310 нм и 0,3 дБ/км для линий большой протяженности при работе на длине волны 1550 нм.

На рисунке ГП.1 этому соответствуют диапазоны длин волн А и В для L-N.x, а диапазоны С и D для S-N.x и I-N.

#### П1.2. Диапазоны рабочих длин волн, определяемые дисперсией в волокне

Для одномодовых волокон, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т G.652, длина волны с нулевой дисперсией находится в промежутке между длинами волн 1300 нм и 1324 нм, так что волокно оптимизировано в области 1310 нм. Эти значения длин волн и соответствующие требования на крутизну характеристики волокна с нулевой дисперсией определяют максимально допустимые абсолютные значения коэффициента дисперсии (определяемого посредством волокон, имеющих минимальные и максимальные длины волн с нулевой дисперсией), приведенного на рисунке П1.2. Однако, волокна, соответствующие Рекомендации МСЭ-Т G.652, могут также использоваться в области 1550 нм, для которой максимальный коэффициент дисперсии сравнительно велик, как видно из характеристики, приведенной на рисунке П1.3. Однако, волокна, соответствующие Рекомендации МСЭ-Т G.652, могут также использоваться в области 1550 нм, для которой максимальный коэффициент дисперсии сравнительно велик, как видно из характеристики, приведенной на рисунке Ш .3.

Для волокна, соответствующего Рекомендации МСЭ-Т G.653, допустимый диапазон длин волн, соответствующих нулевой дисперсии волокна, находится в пределах 1500 нм и 1600 нм, так что волокно является оптимизированным в области 1550 нм. С помощью аналитических выражений для коэффициента дисперсии можно получить максимально допустимые значения, приведенные на рисунке П1.4. Волокна, соответствующие Рекомендации МСЭ-Т G.653, можно

использовать также в области 1310 нм, для которой максимальное значение коэффициента дисперсии сравнительно велико.

Для волокон, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т G.654 и используемых в диапазоне 1550 нм, коэффициент дисперсии имеет аналогичное значение, но немного превышает то значение, которое определено для волокон, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т G.652. Этот вопрос не был учтен в таблицах 2-4 ОСТ 45.107.

Для волокон, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т G.652 и использованных в диапазоне 1310 нм и для волокон, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т G.653 и используемых в диапазоне 1550 нм, диапазон длин волн с ограниченной дисперсией выбирается таким образом, чтобы абсолютные значения коэффициента дисперсии на предельных длинах волн были приблизительно одинаковы. Как видно из формы характеристики, приведенной на рисунке П1.2 и рисунке П1.4, абсолютные значения дисперсии имеют меньшее значение в пределах рабочего диапазона длин волн.

Для волокон, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т G.654, а также для волокон, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т G.652 и используемых в диапазоне 1550 нм, дисперсия, как видно из рисунка П1.3, ограничивает верхнюю рабочую длину волны, в то время как затухание ограничивает нижнюю рабочую длину волны.



Рис. П1.2 - Максимальная абсолютная величина коэффициента дисперсии |σ| для ОК по Рекомендации МСЭ-Т G.652 в диапазоне длин волн 1310 нм



Рис. П1.3 - Максимальная абсолютная величина коэффициента дисперсии |σ| для ОК по Рек. G.652 (-) и по Рек. G.653 (….) в диапазоне длин волн 1550 нм



Рис. П1 .4 - Максимальная абсолютная величина коэффициента дисперсии |σ| для ОК по Рек. G.652

# ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Рекомендации по выбору типов оптического кабеля для многоканальных ВОЛП с оптическими усилителями

#### П2.1 Общие положения

Многоканальные ВОЛП с оптическими усилителями предназначены для работы в окне прозрачности 1,55 мкм в рабочем диапазоне длин волн, определенных в ОСТ 45.178-2001.

Рабочий диапазон длин волн соответствует и рабочей области ОУ (1528,77-1560,61 нм). Многоканальные ВОЛП с ОУ могут работать на оптических кабелях с одномодовыми волокнами следующих типов:

1. одномодовое волокно в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.652 (SMF -singlemodefiber);
2. волокно со смещением дисперсии в область длин волн 1,55 мкм в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.653 (DSSMF -dispersionshiftedsinglemodefiber);
3. волокно с ненулевой смещенной дисперсией в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.655 (NZ DSSMF - поп -zerodispersionshiftedsinglemodefiber).

#### П2.2 Характеристики и функциональные возможности волокон

Основные характеристики волокон по дисперсии и затуханию SMF и DSSMF приведены в Приложении 1 настоящей книги. По затуханию в окне 1,55 мкм все три типа волокон примерно одинаковы, но отличаются характеристиками хроматической дисперсии. Для одноканальных ВОЛП применение DSSMF по сравнению с SMF позволяет существенно увеличить длину участка регенерации по широкополосности, т.к. длина волны нулевой дисперсии λ0для DSSMF смещена в середину рабочего диапазона 1,55 мкм. Однако, для многоканальных ВОЛП с ОУ результат становится отрицательным, т.к. влияние нелинейных эффектов, имеющих место в этом случае, резко возрастает вблизи длины волны λ0. И прежде всего в этом случае проявляется эффект четырехволнового смешивания (ЧВС), приводящий к генерации новых (паразитных) каналов на расстоянии сумм и разностей длин волн основных каналов, что приводит к взаимодействию основных каналов и уменьшению соотношения сигнал/шум.

Эффект ЧВС может быть уменьшен, либо уменьшением уровня мощности оптического сигнала, либо расположением каналов на разных расстояниях друг от друга во избежание их перекрывания, либо перенесением λ0за пределы рабочего диапазона длин волн.

Последнему условию соответствует применение SMF - волокна, у которого λ0 смещена в окно 1,31 мкм. Однако, применение SMF для ВОЛП с высокой пропускной способностью (≥10 Гб/с для одноканальных и ≥40 Гб/с для многоканальных ВОЛП) практически не представляется возможным из-за резкого снижения длины участка регенерации.

Поэтому для многоканальной ВОЛП высокой пропускной способности целесообразно применять третий тип волокна - NZ DSSMF, особенностью которого по сравнению с DSSMF является то, что λ0вынесена за пределы рабочего диапазона длин волн в окне 1,55 мкм, но по сравнению с SMF оно имеет существенно низкое значение дисперсии в окне 1,55 мкм.

#### П2.3 Выбор типа волокна для различных вариантов проектирования ВОЛП

Как отмечается в разделе 2.3, для высокоскоростных ВОЛП доминирующим фактором ограничения длины участка регенерации является дисперсия.

При применении самого дешевого ОК со стандартными одномодовыми волокнами (SMF) с ростом скорости передачи от 155 Мбит/с до 2500 Мбит/с будет иметь место резкое уменьшение длины участка регенерации. Для ослабления этой зависимости возможно использование волокон с компенсирующей дисперсией DCF(Dispersion-CompensatingFiber)или пассивных компенсаторов дисперсии PDC(PassiveDispersionCompensator),В этом случае положительная дисперсия, накопленная на промежутках участка регенерации, компенсируется рядом PDC на основе DCF с заранее подобранным значением отрицательной дисперсии, в результате чего итоговая хроматическая дисперсия может быть уменьшена. Компенсация дисперсии допустима в силу систематического накопления дисперсии с ростом длины. Включение в состав оптического тракта PDC приводит к увеличению затухания в линии, поэтому должно сопровождаться одновременным применением ОУ3.

Тем не менее, при проектировании ВОЛП с пропускной способностью на перспективу до 10 Гбит/с для одноканальных ВОЛП и до 40 Гбит/с для многоканальных ВОСП применение ОК на основе волокон типа SMF может быть весьма эффективным, т.к. они гораздо дешевле волокон типа NZDSSMF. Эффект коррекции дисперсии при применении волокон SMF улучшается, если одновременно использовать передающие устройства с очень узкой шириной спектра (не менее 0,1 нм).

Для одноканальных ВОЛП вместо PDC может быть использован кабель на основе волокон DSSMF, но для многоканальных ВОЛП эффективнее использование волокон типа SMF.

При проектировании многоканальных ВОЛП на основе ВОСП со спектральным разделением каналов (ВОСП-СР) могут быть различные варианты.

Первые поколения ВОСП-СР, появившиеся на сети уже в середине 90 г.г., продемонстрировали новые возможности для операторов связи не только с точки зрения значительного увеличения пропускной способности существующих ВОЛП без существенных дополнительных капитальных затрат, но и с точки зрения более гибкой организации и развития сетей для транспортирования, например, различного вида информационной нагрузки.

По сравнению с первыми поколениями ВОСП-СР, позволяющими передавать одновременно 4, 8 и 16 цифровых сигналов уровня СТМ-16 по ОВ типа SMF, сегодня можно констатировать нижеследующие поразительные результаты, достигнутые в этом направлении. Во первых, значительно возросло число оптических каналов сначала до 160 в 3-м окне прозрачности, так называемом стандартном диапазоне рабочих длин волн (С-диапазон: 1530-1565 нм), а затем до 512 с расширением в длинноволновую область или в 4-ое окно (L-диапазон: 1565-1625 нм) и в коротковолновую область или в 5-ое окно (S-диапазон: 1460-1530 нм). Проводятся исследования по освоению так называемых: расширенного (Е-диапазон: 1300-1460 нм) и сверхдлинного (U-диапазон: 1625-1675пм) диапазонов рабочих длин волн с перспективой еще большего увеличения числа оптических каналов.

Во-вторых, возросла скорость передачи цифрового сигнала в каждом оптическом канале сначала до 10 Гбит/с (уровень СТМ-64 или свыше 120 тысяч каналов ОЦК), а затем до 40 Гбит/с (уровень СТМ-256 или около половины миллиона каналов ОЦК) с перспективой увеличения до 160 Гбит/с.

Перспективы внедрения ВОСП-СР на ЕСЭ России прежде всего будут определяться необходимостью увеличения пропускной способности ВОЛП, т.е. решения проблемы «нехватки» ОВ. Увеличение пропускной способности ВОСП-СР может быть осуществлено, например, кардинальным путем реконструкции сети, связанным с прокладкой более дорогих ОК с ОВ типа NZDSSMF, специально ориентированных на организацию большого числа оптических каналов ≥40 и с высокой скоростью передачи цифровых сигналов в каждом оптическом канапе, соответствующей уровню СТМ-16 и выше. Этот путь позволяет резко увеличить ресурсы проектируемой ВОЛП по пропускной способности, но связан со значительными дополнительными капитальными затратами. Насколько эффективными окажутся эти капвложения - это вопрос, на который сегодня пока нет ответа. Потому что, во-первых, неизвестно, как в ближайшее время проявит себя динамика роста потребности в пропускной способности ВОЛП. Так, например, в ближайшие предшествующие годы отмечался достаточно высокий градиент этой динамики из-за появления расширяющегося спроса на новую услугу-интернет. Однако, сегодня можно уже констатировать заметное снижение дальнейшего роста потребности в этой услуге. Во-вторых, применение новых технологических решений по реализации ВОСП-СР с числом оптических каналов свыше 40 в условиях их «полной загрузки» неизвестно к каким «сюрпризам» приведет в процессе их функционирования в составе ВОЛП, т.к. нет еще опыта их длительной эксплуатации и, как отмечалось выше, отсутствует нормирование по всему комплексу их параметров и полная обоснованность законченностью разработок.

Другой возможный путь увеличения пропускной способности ВОЛП связан с внедрением ВОСП-СР на существующих ОК (в основном на ОВ типа SMF). Этот путь при существенно меньших дополнительных капитальных затратах реально позволяет при протяженности участка регенерации до 600 км в С-диапазоне организовать до 40 оптических каналов со скоростью передачи в каждом канале, соответствующей уровню СТМ-16 и СТМ-64 при использовании промежуточных ВОУ и компенсаторов дисперсии. Очевидно, с учетом предыдущих замечаний, этот путь внедрения ВОСП-СР будет наиболее определяющим для большинства операторов России по крайне мере в ближайшее десятилетие.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Принцип работы ВОСП со спектральным разделением

Внастоящее время широко применяется ВОСП-СР в рабочем диапазоне длин волн 1529-1565 нм, так называемый С-диапазон или III-е окно прозрачности. Структурная схема ВОСП-СР для одного направления передачи приведена на рисунке П3.1.



Рис.П3.1

Работает схема следующим образом. На передающем конце волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП) на выходах т-систем передачи формируются m оптических сигналов на длине волны λшОна соответствует ΙII-ему окну прозрачности, т.е.λн< λIII < λв, где λн,λв-нижняя и верхняя граница рабочего диапазона длин волн в пределах окна прозрачности. Каждый из оптических сигналов поступает на вход транспондера (ТР), который преобразует значение λIIIдлины волны несущей оптического сигнала в строго определенное, фиксированное значение λi (i=l, ...m) в пределах рабочего диапазона длин волн. С выходов ТР оптические сигналы с адаптированными значениями длин
волн λ1,λ2,….,λmпоступают на m оптических входов оптического мультиплексора (ОМ), которое имеет один оптический выход. С выхода ОМ через оптический усилитель мощности ОУ1 результирующий оптический сигнал, вид которого приведен на рисунке П3.2, поступает в линию.

На приемном конце участка регенерации ВОЛП результирующий оптический сигнал через оптический усилитель приема ОУ2 поступает на оптический вход оптического демультиплексора (ОД), при этом на m оптических выходах ОД формируются оптические сигналы на длинах волн λ1,….,λm -соответствующих оптических каналов. Эти оптические сигналы поступают на соответствующие m приемные входы.



Рис.П3.2

Технологическая конструкция и принцип работы устройств ОМ и ОД аналогичны. На рис.П3.3 приведена типовая схема ОМ/ОД с зеркальным отражающим покрытием.



Рис. П3.3

Рассмотрим принцип работы схемы, например, в режиме демультиплексирования. Входной результирующий оптический сигнал (λ1,….,λm) через соответствующий входной (выходной) волновод (ВхВ) поступает на волновод-пластину (В-П), где распределяется по множеству волноводов, представляющих дифракционную структуру (ДфС). По прежнему сигнал в каждом из волноводов ДфС остается результирующим (спектрально-уплотненным) оптическим сигналом, а каждый канал (λ1,….,λm)остается представленным во всех волноводах. Далее происходит отражение сигналов от зеркальной поверхности (ЗК), и, в итоге, световые потоки вновь собираются в В-П, где происходит их фокусировка и интерференция - образуются пространственно разнесенные интерференционные максимумы интенсивности, соответствующие разным каналам.

Геометрия В-П, в частности расположение выходов и длины волноводов, ДфС рассчитываются таким образом, чтобы интерференционные максимумы совпадали с выходами В-П. Таким образом, на каждом из выходов В-П формируется оптический сигнал соответствующего канала λi (i=l,...,m), который через соответствующий ВхВ поступает на i-тый выход ОД.

Аналогично, но обратным путем происходит работа схемы в режиме мультиплексирования.

Применение OУ1 на передаче и ОУ2 на приеме необходимо для компенсации потерь на затухание мощности оптического излучения в каналах, в пассивных устройствах интегральной оптики ОМ и ОД. В этом случае применяются, как правило, ОУ на активном оптическом волокне, так как они имеют равномерную характеристику усиления для всех оптических каналов в пределах рабочего диапазона длин волн.

К преимуществам ВОСП-СР относится не только увеличение пропускной способности ОВ, но и возможность передачи по каждому из оптических каналов различных цифровых форматов (CTM-N, ATM, IP, Gigabit Ethernet и т.д.), как показано на рисунке П3.1.

Первые поколения ВОСП-СР, появившиеся на сети уже в середине 90 г.г., продемонстрировали новые возможности для операторов связи не только с точки зрения значительного увеличения пропускной способности существующих ВОЛП без существенных дополнительных капитальных затрат, но и с точки зрения более гибкой организации и развития сетей для транспортирования, например, различного вида информационной нагрузки.

Спрос на новые средства связи обусловил значительные инвестиции в этой области и, как следствие, к стремительному технологическому прорыву по многим аспектам новой техники. Изготовители аппаратуры, стремясь «обойти» друг друга на рынке средств связи заявляли о все новых технологических решениях, подчас не всегда обоснованных законченностью проведенных исследований и разработок.

Так, по сравнению с первыми поколениями ВОСП-СР, позволяющими передавать одновременно 4, 8 и 16 цифровых сигналов уровня СТМ-16 по ОВ типа SMF, сегодня можно констатировать нижеследующие поразительные результаты, достигнутые в этом направлении. Во первых, значительно возросло число оптических каналов сначала до 160 в 3-м окне прозрачности, так называемом стандартном диапазоне рабочих длин волн (С-диапазон: 1530-1565 нм), а затем до 512 с расширением в длинноволновую область или в 4-ое окно (L-диапазон: 1565-1625 нм) и в коротковолновую область или в 5-ое окно (S-диапазон: 1460-1530 нм). Проводятся исследования по освоению так называемых: расширенного (Е-диапазон: 1300-1460 нм) и сверхдлинного (U-диапазон: 1625-1675нм) диапазонов рабочих длин волн с перспективой еще большего увеличения числа оптических каналов.

Во-вторых, возросла скорость передачи цифрового сигнала в каждом оптическом канале сначала до 10 Гбит/с (уровень СТМ-64 или свыше 120 тысяч каналов ОЦК), а затем до 40 Гбит/с (уровень СТМ-256 или около половины миллиона каналов ОЦК) с перспективой увеличения до 160 Гбит/с.

Это потребовало совершенствования технологии основных компонентов ВОСП-СР. Были созданы и постоянно совершенствуются многоволновые ОУ для С-диапазона, к которым предъявляются более жесткие требования, нежели к одноволновым ОУ [51]. Разработан новый тип ОВ с ненулевой смещенной дисперсией специально для применения в ВОСП-СР с большим числом оптических каналов [63]. Разрабатываются ОУ и ОВ для применения за пределами С-диапазона.

Стремительность технологического прорыва в этой области привела к тому, что международные стандарты и Рекомендации МСЭ-Т по ВОСП-СР постоянно «опаздывают», постоянно дорабатываются и до сих пор содержат «белые пятна» по многим очень важным и принципиальным параметрам новой техники с точки зрения ее внедрения на сети.

Перспективы внедрения ВОСП-СР на ЕСЭ России прежде всего будут определяться необходимостью увеличения пропускной способности в основном существующих ВОЛП.

Увеличение пропускной способности применением новой технологии со спектральным разделением каналов может быть, например, осуществлено путем кардинальной реконструкции сети, связанной с прокладкой более дорогих ОК с ОВ типа NZDSSMF (см. Приложение 2), специально ориентированных на организацию большого числа оптических каналов m ≥ 40 и с высокой скоростью передачи цифровых сигналов в каждом оптическом канале, соответствующей уровню СТМ-16 и выше. Этот путь позволяет резко увеличить ресурсы проектируемой ВОЛП по пропускной способности, но связан со значительными дополнительными капитальными затратами. Насколько эффективными окажутся эти капвложения - это вопрос, на который сегодня пока нет ответа. Потому что во-первых, неизвестно, как в ближайшее время проявит себя динамика роста потребности в пропускной способности ВОЛП. Так, например, в ближайшие предшествующие годы отмечался достаточно высокий градиент этой динамики из-за появления расширяющегося спроса на новую услугу-интернет. Однако, сегодня можно уже констатировать заметное снижение дальнейшего роста потребности в этой услуге. Во-вторых, применение новых технологических решений по реализации ВОСП-СР с числом оптических каналов свыше 40 в условиях их «полной загрузки» неизвестно к каким «сюрпризам» приведет в процессе их функционирования в составе ВОЛП, т.к. нет еще опыта их длительной эксплуатации и, как отмечалось выше, отсутствует нормирование по всему комплексу их параметров и полная обоснованность законченностью разработок.

Другой возможный путь увеличения пропускной способности ВОЛП связан с внедрением основных компонентов ВОСП-СР на существующих ОК (в основном на ОВ типа SMF). Этот путь при существенно меньших дополнительных капитальных затратах реально позволяет при протяженности участка регенерации до 600 км в С-диапазоне организовать до 40 оптических каналов со скоростью передачи в каждом канале, соответствующей уровню СТМ-16 и СТМ-64 при использовании промежуточных ОУ (ОУ3) и компенсаторов дисперсии. Очевидно, с учетом предыдущих замечаний, этот путь внедрения ВОСП-СР будет наиболее определяющим для большинства операторов России по крайне мере в ближайшее десятилетие.

К особенностям проектирования ВОЛП на базе ВОСП-СР относится прежде всего необходимость расчета не только протяженности участка регенерации, но и длины элементарного кабельного участка при применении промежуточных оптических усилителей. При этом в отличие от одноканальных ВОСП необходимо учитывать ряд дополнительных факторов, связанных со спецификой работы ВОСП-СР, например, число и основные параметры оптических усилителей, число оптических каналов, влияние нелинейных эффектов.

Как отмечалось выше, к специфике ВОСП-СР, как оптической транспортной системе или так называемой оптической платформе, относится и то, что она должна обеспечивать передачу цифровых сигналов различных форматов (CTM-N, ATM, IP, Ethernet Gbit и т.д.) и с различной скоростью [51].

Это же предопределяет и другой подход к оценке качества передачи цифровых сигналов в оптических каналах ВОСП-СР. Существующий подход, связанный с оценкой качества по показателям ошибок (ES, SES), применим, если имеется возможность доступа к цифровым форматам (к соответствующим байтам заголовков информационных цифровых структур). Кроме того, нормы на показатели ошибок разработаны только для информационных структур ПЦИ и СЦИ. Поэтому при оценке качества функционирования ВОСП-СР может быть использован подход, связанный с измерением Q-фактора, который является универсальным в случае передачи любого цифрового формата [141].

# ПРИЛОЖЕНИЕ 4 Принцип работы оптических усилителей

В настоящее время широко применяется наиболее перспективный тип оптического усилителя (ОУ) на активном оптическом волокне - одномодовом волокне, сердцевина которого легирована редкоземельным элементом эрбием (Еr). Эти волоконно-оптические усилители позволяют осуществлять усиление оптических сигналов, передаваемых в III-м окне прозрачности, т.е. в рабочем диапазоне длин волн 1530-1560 нм.
Классификация и определение типов ОУ: ОУ1,ОУ2 и ОУ3 изложены в разделе 2. Блок-схемы ОУ1 и ОУ2 приведены на рис. П4.1 и П4.2 соответственно.



Рис.П4.1



Рис. П4.2

Работают ОУ следующим образом.

Входной оптический сигнал на длине волны λс=1550нм проходит через оптический изолятор (ОИ), который пропускает свет только в одном направлении, и поступает в оптический мультиплексор (ОМ), на второй вход которого подается также световое излучение накачки с длиной волны λн=1480 (в ОУ1) и 980 нм (в ОУ2). Оба сигнала совмещаются и поступают в легированное эрбием активное оптическое волокно (АОВ), в котором входной сигнал усиливается за счет вынужденного (или индуцированного) усиления фотонов. Затем усиленный входной сигнал через оптический изолятор и полосовой оптический фильтр (ОФ) поступает на выход. Эффект усиления достигается за счет того, что лазер накачки возбуждает электронную подсистему примесных атомов эрбия в АОВ. В результате электроны с основного энергетического состояния (уровень А) переходят в возбужденное состояние (уровень В).

Возбужденные состояния имеют большое время релаксации, чтобы спонтанно (самопроизвольно) перейти в основное состояние. Скорее происходит релаксация электронов с уровня В на промежуточный уровень С (см. рис.П4.3). Когда «заселенность» уровня С становится достаточно высокой, так что образуется инверсная заселенность уровней А и С, то такая система способна индуцировано (вынужденно) усиливать слабый входной оптический сигнал. Другими словами, при наличии слабого входного сигнала происходит вынужденный (индуцированный) переход атомов примесей из возбужденного состояния в основное с излучением света на той же длине волны и с той же фазой, как и у вызвавшего это входного сигнала. Таким образом, при распространении входного оптического сигнала на длине волны λс =1550 нм вдоль АОВ и при одновременной его накачке световым излучением с длиной волны λн происходит поглощение одного фотона с энергией hc/ λн, а другой фотон с энергией hc/λc - излучается.



Рис.114.3

Характерным для ОУ является также широкополосный собственный шум, который связан со спонтанным излучением возбужденных атомов примесей.

Оптический фильтр (ОФ), применяемый на выходе ОУ2 (см. рис.П4.2) предназначен для отфильтрования шума вне полосы частот (спектра длин волн) усиливаемого сигнала.

Характерным для схемы ОУ, является использование лазера накачки на длине волны λн=1480нм, что приводит к уменьшению шумов и увеличению ресурса лазера накачки, но коэффициент усиления в этом случае меньше. Поэтому в схемах ОУ) для увеличения коэффициента усиления часто используют более длинный отрезок АОВ (до нескольких десятков метров) и, соответственно, два лазера накачки (с двух сторон АОВ), как показано на рис. П4.1.

Для схемы ОУ2 , ориентированного на усиление более слабых оптических сигналов, чем в случае ОУ|, характерным является то, что используется лазер накачки с λн =980нм.

Это приводит к увеличению коэффициента усиления, но при большем уровне входного сигнала, как, например, на входе ОУ1 уровень шумов возрастает, а ресурс лазера накачки уменьшается. Поэтому в схеме ОУ2. как правило, не применяется второй лазер накачки, и обязательно используется полосовой оптический фильтр (см. рис. 4.9).

Что касается схемы ОУ3, то она, по существу, является схемой последовательного соединения «ОУ1 + ОУ2». Таким образом, оптический сигнал в линии сначала предварительно усиливается по схеме ОУ2, а затем еще раз по схеме ОУ). Как правило в схеме ОУ3 между ОУ1 и ОУ2 включают пассивный компенсатор дисперсии на ОВ для увеличения протяженности участка линии передачи по дисперсии.

Достоинством ОУ является то, что они могут быть использованы как в одноканальных ВОСП, так и в ВОСП-СР.

ОУ могут сегодня успешно использоваться при реконструкции и восстановления ВОЛП.

В основном на действующих ВОЛП используются ОВ типа SMF (пo Рекомендации МСЭ-Т G.652) и АЛТ синхронных мультиплексоров уровня не выше СТМ-16 (2,5 Гб/с) без ОУ с длиной участка регенерации до 100-150 км. Таким образом, на многих участках ВОЛП используются необслуживаемые регенерационные пункты (НРП) со специальными мерами по их автономному электропитанию и защите от несанкционированного доступа.

Основной из проблем, возникающих в процессе эксплуатации ВОЛП, является проблема «существования» НРП. Эта проблема решается с минимальными дополнительными капитальными затратами, если установить в линейном тракте ВОЛП на соседних прилежащих друг к другу сетевых узлах связи ОУ1 и ОУ2 (см. раздел 2), т.е. применение ОУ позволяет значительно увеличить длину участка регенерации ВОЛП при той же скорости передачи в существующих ВОЛП, что позволит в ряде случаев «исключить» НРП.

Кроме того, в ходе эксплуатации существующих ВОЛП возникает необходимость увеличить объем трафика, что может быть обеспечено заменой оборудования (в сетевых узлах) на более высокоскоростное (например, АЛТ уровня СТМ-16 на АЛТ уровня СТМ-64). Причем, при повышении скорости сигнала до 10 Гбит/с (СТМ-64), передаваемого по ОВ типа SMF, для сохранения той же длины участка регенерации по скорости передачи необходимо вводить в тракт ВОЛП пассивные компенсаторы дисперсии, что приведет к уменьшению длины участка регенерации по затуханию. Поэтому, чтобы сделать это с минимальными дополнительными капитальными затратами и сохранением той же длины участка регенерации, в большинстве случаев для этого достаточно применить те же ОУ1 и ОУ2.

По заданию ОАО «Ростелекома» в ЦНИИС была разработана в 1997-99 г.г. концепция восстановления цифровых линий связи в чрезвычайных ситуациях (ЧС), в соответствии с которой, в частности, региональные центры технической эксплуатации ОАО «Ростелекома» должны быть обеспечены соответствующими мобильными средствами восстановления (МСВ) НРП ВОЛП ЧС с использованием ОУ. В соответствующих технических предложениях (шифр: «МСВ-НРП ВОЛП-ЧС») показана необходимость и высокая эффективность использования ОУ - как отдельных приборов.

Предусматривается дальнейшая работа с ОАО «Ростелеком» в этом направлении, связанная с приобретением и опытной эксплуатацией образцов ОУ в составе МСВ.

Ожидается, что в будущем, эти положения концепции будут нормированы в масштабах всей отрасли.

|  |
| --- |
| АНО "Радиочастотный центр МО"Последовательность действий при создании объекта радиосвязи |

|  |
| --- |
| http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_01.gif |
| http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_02.gif | Получение решения ГКРЧ о выделении полос радиочастот |
| http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_04.gif |
| http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_05.gif | http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_06.gif | http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_07.gif |
| http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_08.gif |
| Получение лицензий | http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_10.gif | Сертификация |
| http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_12.gif | http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_13.gif |
| Получение заключения об ЭМС (ГРЧЦ) |
| Получение заключения об ЭМС (ГРЧЦ) | Расчет ЭМС с РЭС специального назначения | Получение заключения об ЭМС (ГРЧЦ) |
| Получение заключения об ЭМС (ГРЧЦ) |
| Получение разрешения на использование частот (Россвязьохранкультура) |
| Разрешение на ввоз (для импортного оборудования) |
| Разработка системного проекта |
| Разработка рабочего проекта | http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_23.gif |
| Разработка рабочего проекта | http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_25.gif | Разработка рабочего проекта | Расчет санитарно защитных зон и зон ограничения застройки | Разработка рабочего проекта | Санитарно-эпидемиологическое заключение на эксплуатацию ПРТО от органов Роспотребнадзора | Разработка рабочего проекта |
| Разработка рабочего проекта | Разработка рабочего проекта | Разработка рабочего проекта |
| Экспертиза проекта |
| http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_35.gif |
| Регистрация радиоэлектронных средств |
| http://rfcmd.ru/files/Block_shema/images/Blok_shema_37.gif |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

# Лекции - ВОЛС (1-12) - файл KONSP10.DOC

[Лекции - ВОЛС (1-12)](http://gendocs.ru/v747/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_-_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81_1-12)
[скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=file) (350.3 kb.)
Доступные файлы (13):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| [KONSP10.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=1) | 83kb. | 07.02.2000 19:30 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=1) |
| [KONSP11.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=2) | 153kb. | 07.02.2000 19:34 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=2) |
| [KONSP12.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=3) | 71kb. | 04.01.1980 04:56 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=3) |
| [KONSP1.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=4) | 167kb. | 01.01.1980 03:53 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=4) |
| [KONSP2.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=5) | 165kb. | 01.01.1980 12:53 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=5) |
| [KONSP3.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=6) | 160kb. | 01.01.1980 05:19 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=6) |
| [KONSP4.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=7) | 181kb. | 04.01.1980 04:44 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=7) |
| [KONSP5.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=8) | 438kb. | 07.02.2000 19:32 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=8) |
| [KONSP6.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=9) | 86kb. | 07.02.2000 19:33 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=9) |
| [KONSP7.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=10) | 41kb. | 04.01.1980 04:52 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=10) |
| [KONSP8.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=11) | 52kb. | 04.01.1980 04:52 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=11) |
| [KONSP9.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=12) | 111kb. | 04.01.1980 04:53 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=12) |
| [KONSP.DOC](http://gendocs.ru/v747/?cc=13) | 204kb. | 01.01.1980 04:18 | [скачать](http://gendocs.ru/v747/?download2=13) |

[содержание](http://gendocs.ru/v747/content/)

Смотрите также:

* [Презентация - Основы ВОЛС](http://gendocs.ru/v15829/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_-_%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81) [[ реферат ]](http://gendocs.ru/v15829/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_-_%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%8B_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81)
* [Презентация - Системы мониторинга ВОЛС](http://gendocs.ru/v22225/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_-_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81) [[ реферат ]](http://gendocs.ru/v22225/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_-_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81)
* [Курсовой проект - Проектирование ВОЛС на участке зоновой сети](http://gendocs.ru/v39838/%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_-_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81_%D0%BD%D0%B0_%D1%83%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BA%D0%B5_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8) [[ курсовая работа ]](http://gendocs.ru/v39838/%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_-_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81_%D0%BD%D0%B0_%D1%83%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BA%D0%B5_%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8)
* [Оборудование ВОЛС](http://gendocs.ru/v28883/%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82_-_%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81) [[ реферат ]](http://gendocs.ru/v28883/%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82_-_%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81)
* [Моделирование структуры оптического линейного тракта](http://gendocs.ru/v7167/%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0_-_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B_%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B0) [[ лабораторная работа ]](http://gendocs.ru/v7167/%D0%BB%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B0_-_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B_%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B0)
* [Курсовой проект - Проектирование фрагмента цифровой сети связи Старый Оскол-Роговатое с использованием оборудования SDH](http://gendocs.ru/v11070/%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_-_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%B3%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0_%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8_%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BB-%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B5_%D1%81_%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC_%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_sdh) [[ курсовая работа ]](http://gendocs.ru/v11070/%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_-_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%B3%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0_%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8_%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%8B%D0%B9_%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BB-%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B5_%D1%81_%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC_%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_sdh)
* [Курсовой проект - Оценка эффективности инвестиций в строительстве волоконно-оптической линии связи (ВОЛС)](http://gendocs.ru/v36896/%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_-_%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%B0_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8_%D0%B8%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B9_%D0%B2_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%B8_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81) [[ курсовая работа ]](http://gendocs.ru/v36896/%D0%BA%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82_-_%D0%BE%D1%86%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%B0_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8_%D0%B8%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B9_%D0%B2_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%B8_%D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%81)
* [Общее языкознание и теория межкультурной культурной коммуникации](http://gendocs.ru/v10775/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_-_%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B8_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BC%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8) [[ лекция ]](http://gendocs.ru/v10775/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_-_%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%B8_%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%BC%D0%B5%D0%B6%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BC%D1%83%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8)
* [Электронные лекции по истории древнего мира](http://gendocs.ru/v3869/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_-_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8_%D0%B4%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%B3%D0%BE_%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0) [[ лекция ]](http://gendocs.ru/v3869/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_-_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B8_%D0%B4%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%B3%D0%BE_%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B0)
* [по природопользованию](http://gendocs.ru/v13227/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8E) [[ лекция ]](http://gendocs.ru/v13227/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8E)
* [по социальной работе](http://gendocs.ru/v35270/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D1%81%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B5) [[ документ ]](http://gendocs.ru/v35270/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D1%81%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B5)
* [по энергосбережению](http://gendocs.ru/v38034/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E) [[ документ ]](http://gendocs.ru/v38034/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%B1%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8E)

## KONSP10.DOC

Лекция 14. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЛС.

**Требования к ВОЛС**. Проектирование систем волоконно-оптической связи следует начинать с определения предъявляемых к системе требоваий, что определит в дальнейшем сам процесс проектирования, техническую эффективность и экономическую целесообразность принятых решений.

К общим требованиям к системам относятся:

- заданный объем передаваемой информации. Это требование характеризуется необходимой полосой пропускания системы, скоростью передачи информации, числом эквивалентных стандартных каналов тональной частоты;

- тип передаваемой информации: цифровой или аналоговый;

- помехозащищенность системы. Это требование задается отношением сигнал-шум на входе оптического премника либо вероятноятью ошибки при передаче цифровой информации;

- расстояние между оконечными устройствами или терминалами, количество и характеристики терминалов;

- условия прокладки (строительства) и эксплуатации системы;

- требования к массо-габаритным и стомостным характеристикам, надежности системы.

Кроме этих основных требований при проектировании необходимо учитывать воздействие на системы таких внешних факторов, как физический и химический состав окружающей среды, наличие электромагнитных и радиационных воздействий и т.д. Учет совокупности всех перечисленных факторов делает процесс проектирования ВОЛС довольно сложным, допускающим получение неоднозначного решения, когда выбор окончательного варианта определится конкретными условиями применения.

**^ Последовательность проектирования**. Разработке проекта строительства ВОЛС должны предшествовать изыскательские работы с выездом на место строительства зданий, НРП и трассу прокладки кабеля. Цель изыскательских работ - подробное изучение условий, в которых будет осуществляться строительство и эксплуатация сооружений.

Изыскательские работы подразделяются на два вида - экономические и технические.

Экономические изыскания проводятся с целью изучения экономики района строительства, выявления состояния и перспективных потребностей в развитии средств связи. Технические инженерные изыскания проводятся для изучения природных условий будущего строительства и ознакомления с трассой прокладки кабеля и местами строительства зданий и регенерационных пунктов. Для этого в проектных институтах создаются специальные структурные подразделения - изыскательные партии и отряды специалистов.

Проектирование начинают с изучения поставленных требований к ВОЛС и анализа имеющейся в распоряжении разработчика элементной базы. Затем выбирают топологию построения ВОЛС, которая определяется ее назначением, числом терминалов, перспективами дальнейшего развития и модификации.

Важнейшим этапом проектирования является выбор волоконно-оптической системы передачи и типа оптического кабеля, а также системы электропитания ВОЛС.

Следующий этап заключается в обоснованном выборе элементной базы ВОЛС. Здесь определяют, может ли ширина полосы пропускания выбранного ОК в совокупности с источником излучения обеспечить требуемую широкополосность (скорость передачи информации) при данном расстоянии между оконечными устройствами, известной чувствительности оптического приемника и заданной вероятности ошибки. Рассчитывают длину усилительного участка, число ретрансляторов в системе. Выбирают пространственное (по различным световодам), временное или спектральное уплотнение сигналов, вид модуляции.

При выборе элементной базы ВОЛС следует проводить экономические оценки системы, связанные с определением удельной стоимости каждого типа элементов в общей сумме затрат на систему. Это позволит определить, что обуславливает основные затраты в системе: кабель, оконечные устройства, ретрансляторы и т.д. Например, в большинстве ВОЛС расход на приобретение и прокладку оптического кабеля является основной частью стоимости всей системы. В этом случае целесообразно проложить кабель с возможно низким затуханием и широкой полосой частот в расчете на возможность его использования при развитии системы, когда с ростом объема передаваемой информации достаточно будет только наращивать оконечное оборудование без замены ОК.

Желательно рассмотреть несколько вариантов построения ВОЛС, отличающихся элементной базой, используемым оптическим диапазоном, типом модуляции сигналов, принципами организации связи.

После выполнения приближенного инженерного расчета различных вариантов системы связи, следующий этап заключается в определении реакции системы на некоторое отклонение параметров ее структурных элементов. В результате находят пределы допусков на технические характеристики элементов ВОЛС.

Затем рассматривают ряд системных требований, связанных с условиями прокладки, монтажа и эксплуатации ВОЛС, которые определяют возможные варианты конструктивного оформления ОК, приемных и передающих модулей, а также других структурных элементов, способы электропитания системы.

Выбор элементной базы и топологии ВОЛС может определиться и требованиями к надежности систем, поэтому при проектировании целесообразно установить наиболее уязвимые, с точки зрения надежности, звенья оптических и электрических частей систем и проработать вопросы их резервирования, облегчения условий эксплуатации и т.д.

На следующем этапе выполняют технико-экономический расчет рассмотренных вариантов ВОЛС для их сравнения и выбора наиболее эффективного. В действительности достичь оптиманого варианта ВОЛС очнь трудно из-за ограниченности в настоящее время элементной базы систем, постоянного существенного прогресса в создании новых элементов оптических систем, их быстрого морального старения, а также трудностей полного удовлетворения всему многообразию требований, предъявляемых к системе связи. Поэтому лучшим вариантом будет тот, который более гибкий и приспособлен к изменению элементной базы на период времени эксплуатации системы.

**^ Стадии проектирования**. Процесс проектирования, как правило, состоит из задания на проектирование и собственно проекта. Проект может разрабатываться в две или одну стадии. При двухстадийном проектировании вначале разрабатывается технический проект (техпроект), в котором излагаются все основные технические решения и определяется стоимость строительства сооружения, а после его утверждения разрабатываются рабочие чертежи. Такие проекты создаются для технически сложных и крупных объектов с применением новой неоснованной техники. В случае одностадийного проектирования сразу разрабатывается технорабочий проект, включающий все основные решения технического проекта и рабочие чертежи.

**^ Эксплуатационно-техническое обслуживание ВОЛС**.

К эксплуатационно-техническому обслуживанию ВОЛС относятся:

- охрана;

- техническое обслуживание и профилактика;

- контроль за техническим состоянием;

- ремонт;

- аварийно-восстановительные работы;

- реконструкция;

- измерение параметров;

- защита от внешних влияний и коррозии;

- содеожание под избыточным газовым давлением.

Охрана ВОЛС осуществляется с целью предупреждения механических повреждений ОК при проведении строительных и змляных работ в пределах трассы линии связи. Наибольший эффект в этой работе дают профилактические мероприятия, включающие следующие виды работ: систематический контроль за состоянием ВОЛС, разъяснительная работа на предприятиях, строительных организациях и среди населения о важности выполнения правил по защите линии связи от повреждений, согласование на работы в охранных зонах ВОЛС, инспектирование и надзор за работами, проводимыми в этих зонах.

Техническое обслуживание и профилактика ВОЛС подразделяются на текущее и плановое. Основной задачей этих видов обслуживания является своевременное выявление и устранение неисправностей и повреждений на линии связи, позволяющие не допустить нарушения действия или ухудшения качества связи. Под повреждением ВОЛС понимают такое ее состяние, при котором часть параметров линии связи и трактов не удовлетворяет требованиям норм, однако действие связи не прекращается. Выявление повреждений производится в процессе проведения периодических электрических измерений параметров ВОЛС и ОК или в результате показаний автоматизированных систем телеконтроля и управления за состоянием ОК.

Контроль за техническим состоянием междугородных ВОЛС осуществляется автоматически путем непрерывного контроля параметров передачи ОК, что позволяет практически немедленно получить сигналы извещения о нарушениях режима работы и авариях на ВОЛС и ОК. Непрерывный контроль дает возможность в ряде случаев прогнозировать и предотвращать аварийные ситуации, сокращать объем профилактических работ с закрытием связей, а в ряде случаев полностью отказаться от закрятия связи.

На междугородных ВОЛС широко применяется автоматизация и телеконтроль, позволяющие принять необходимые меры к предотвращению аварии и тем самым избежать прекращения действия связи. С этой целью ВОЛС оборудуют:

- устройствами содержания под избыточным газовым давлением, позволяющим передавать на оконечный или ближайший обслуживаемый пункт сигналы о понижении давления, а также автоматически запускать компрессорные установки для периодической подкачки воздуха;

- устройствами автоматической сигнализации и телемеханики для контроля за техническим состянием в них регенераторов с элементами управления, переключением регенераторов и других устройств, а также состоянием помещения необслуживаемых регенерационных пунктов;

- устройствами для подачи и приема в НРП дистанционного или местного электропитания;

- контрольно-измерительными пунктами для измерения потенциалов на металлических оболочках ОК.

Обеспечение контроля за работой НРП и нормального режима в НРП в системах телемеханики осуществляется путем передачи с контролируемых НРП сигналов об открытии двери НРП, неисправности регенераторов, нарушений температурного режима, превышении влажности, понижения давления в ОК, нарушении работы блоков электропитания.

Для переключения основных регенераторов на резервные предусматривается установка дистанционно управляемых или автоматических устройств с посылкой на оконечный пункт или обслуживаемый пункт ответных сигналов исполнения или сигналов извещения о срабатывании автоматических переключающих устройств. Аналогично этому обеспечивается посылка сигналов управления, необходимых для сохранности связи при повреждении станционной аппаратуры и линейных сооружений (автоматическое переключение питания НРП от резервных аккумуляторов, автоматический пуск компрессорных установок для подкачки воздуха и др.).

На ОК применяется несколько систем телеуправления и контроля (ТУ и К). Первая группа систем ТУ и К овнована на создании для них специальных трактов. Подобным системам присущи следующие недостатки: высокая стоимость из-за организации специального оптического тракта; телеконтроль происходит по системе “опрос-ответ”, что увеличивает время обнаружения неисправного НРП; система не реагирует на ряд повреждений основных трактов.

Вторая группа ТУ и К работает на принципе разделения информационных трактов и трактов ТУ и К по оптическим несущим. Подобные системы также неэкономичны, так как кроме выделения специальных трактов для ТУ и К необходимо сокращать длину регенерационного участка из-за потерь в оптических фильтрах.

Третья группа систем ТУ и К работает по информационному тракту при аварии, когда происходит прерывание информационных сигналов. Недостаток этих систем состоит в невозможности их использования для прогнозирования отказов в ВОЛС, а также значительное время для определения характера и места повреждения ОК и ВОЛС.

Наиболее совершенные системы ТУ и К обеспечивают постоянный контроль за состоянием оптических кабелей и трактов. Подобные системы позволяют максимально сократить время обнаружения аварии или неисправности, а также прогнозировать отказы и повреждения оптических трактов ВОЛС. Решение последних задач требует анализа, обработки т запоминания поступающих сигналов, что осуществляется с помошью ЭВМ. В память ЭВМ вводится информация о состоянии ВОЛС и ОК, данные о характере различных повреждений и аварийных ситуаций и описание этих ситуаций сигналами телеконтроля. В результате создается автоматизированная система упарвления технологическими процессами в ВОЛС. Подобные системы позволяют резко повысить эффективность и надежность работы ВОЛС, снизить эксплуатационные расходы и увеличить производительность труда.

На ВОЛС проводятся текущий ремонт - силами кабельного участка и капитальный - ремонтно - восстановительной бригадой.

При текущем ремонте кабельных сооружений выполняются следующие работы:

- углубление и выноска строительных длин кабеля;

- устранение негерметичности кабелей;

- ремонт контрольно-испытательных пунктов (КИП), люков, крышек, кронштейнов в колодцах;

- покраска ящиков, шкафов арматуры;

- установка новых замерных столбиков;

- ремонт устройств защиты от коррозии и ударов молнии и др.

При капитальом ремонте основными работами являются:

- выноска или углубление кабельной линии;

- переустройство кабельных колодцев;

- устройство речных переходов;

- установка кабеля под давление;

- выполнение работ по защите от коррозии и ударов молнии;

- приведение оптических характеристик кабелей к нормам;

- замена кабелей и оборудования на лучшие;

- ремонт НРП и др.

В процессе технической эксплуатации ВОЛС осуществляется комплекс измерений с целью определения электрического состояния линейных сооружений, предупреждения повреждений и их устранения. В комплекс входят следующие измерения: профилактические, аварийные и контрольные.

Профилактические измерения проводятся с целью выявления и устранения возникших в процессе эксплуатации отклонений оптических параметров линейных сооружений от норм. Эти измерения выполняются в плановом порядке периодически в определенные промежутки времени.

Аварийные измерения производятся с целью определения характера и места повреждения или аварии кабелей. Порядок измерений следующий: вначале измеряются оптические параметры с целью определения характера и района повреждения кабеля, затем выполняются измерения для уточнения места повреждения на трассе. В случае необходимости поврежденное место кабеля вырезается и делается временная, а в последующем и постоянная кабельные вставки .

Контрольные измерения проводятся после окончания ремонтных и восстановительных работ с целью определения качества ремонтно-восстановительных работ.

**^ Определение места и характера повреждения оптического кабеля.**

Характерные повреждения ОК - нарушение целостности волокна и защитной оболочки. Методы определения места и характера повреждения оболочки аналогичны методам, широко применяемым в электрических кабелях с медными проводниками.

Повреждением оптического волокна считается любая неоднородность, приводящая к ухудшению передаточных ствойств кабеля. Один из наиболее характерных видов повреждения - обрыв волокна.

Существуют в основном два метода определения места обрыва оптического волокна:

- измерение интенсивности обратного рассеяния с помощью рефлектометра;

- импульсный локационный метод определения места обрыва.

Сравнивая эффективность этих методов, следует отметить, что недостатком первого метода является низкий уровень потока обратного рассеяния, что не позволяет использовать его для определения места обрыва кабельных линий большой протяженности.

**^ Импульсный метод**. Этот мтеод обладает высокой разрешающей способностью и позволяет определить как места неоднородностей, так и полного обрыва оптических волокон в кабеле.

Принцип работы прибора состоит в том, что в кабель посылается серия зондирующих импульсов и по времени возвращения отраженных отраженных от места обрыва или повреждения волокна импульсов определяется это место (рис. 1).

1 4 5 6 8 11

2 3 6 10

7 9

х1

х2

Рис. 1. Схема оборудования импульсных измерений

1- лазер; 2- генератор импульсов; 3 - видеоусилитель; 4 - элемент Поккельса; 5 - разветвляющая пластина; 6 - фокусирующая линза;

7 - фотодиод; 8 - оптичкий кабель; 9 - усилитель; 10 - осциллограф;

11 - зеркало.
Данный метод позволяет определить место повреждения кабеля с точностью до нескольких сот метров. В качестве источника излучения используется гелий-неоновый лазер. Внешний модулятор на элементе Поккельса управляется импульсами длительностью 1 мс и частотой следования 100 кГц, которые генерируются импульсным генератором и усиливаются видеоусилителем. Световые импульсы вводятся в кабель с помощью линзы. На дальнем конце кабеля расположено зеркало, между модулятором и фокусирующей линзой - полупрозрачное зеркало, которое отводит часть отраженного светового потока от места повреждения на фотодиод. Сигнал с фотодиода усиливается широкополосным усилителем и подается на клемму х1 осциллографа. На клемму х2 осциллографа подается импульс от генератора. По разнице времени прихода обоих импульсов определяется расстояния до места повреждения:

,

где t- разность во времени прихода обоих импульсов;

- уширение второго импульса из-за дисперсии.

Следует отметить, что эффективность импульсного метода контроля состояния оптического кабеля зависит от угла скола волокна. При воздействии на волокно только растягивающей силы возникает плоская поверхность излома, если же волокно разрушается от удара, то поверхность не является плоской. Поскольку значение эхо-импульсаможет зависеть от характера излома волокна, в ряде случаев импульсный метод может оказаться недостаточно точным для обнаружения места повреждения оптического кабеля.

Этим же локационным методом можно также определить параметр затухания оптического кабеля. Действительно, первый импульс I0, поданный на клемму х1, соответствует отраженному от переднего торца волокна к поверхности фокусирующей линзы, а второй импульс  - отраженному от зеркала в конце кабеля. Пользуясь полученными значениями амплитуд этих импульсов, затухание оптического кабеля рассчитывается по формуле

.

**^ Метод обратного рассеяния с применением рефлектометров.** Последнее время широкое распрлстранение получили оптические рефлектометры, базирующиеся на методе обратного рассеяния. Рефлектометр позволяет определить степень регулярности ВОЛС, выяснить места неоднородностей и повреждений кабеля, наличия микроьтрещин и изгибов, потерь в местах соединений и затухания, как строительной длины кабеля, так и всего тракта передачи. Погрешность измерения рефлектометром составляет: затухания 0,1... 1,0 дБ, а расстояний до места повреждения до места повреждения 3...10 м.

Структурная схема рефлектометра приведена на рис. 2.

Оптический сигнал от лазера 2 через направленный ответвитель 3 и разъем 4 вводится в волокно. Сигнал обратно рассеянного излучения отводится на фотоприемник 6 и поступает в осциллограф и систему регистрации: преобразователь 7 и самописец 8. Задающий генератор 1 служит для синхронизации работы излучателя, фотоприемника и системы регистрации. Контрольный фотоприемник 5 предназначен для контроля стабильности мощности и формы импульсов.

5

К осциллографу

2 3 4



1 6

К осциллографу

7 8



Рис. 2

1- генератор; 2 - лазер; 3 - ответвитель; 4 - разъем;

5 - контрольный фотоприемник; 6 - фотоприемник;

7 - преобразователь; 8 - самописец.
Направленный ответвитель ответвляет часть передаваемого излучеия в контрольный фотоприемник 5, а обратное излучение поступает на фотоприемник 6.

На рис. 3 приведена типичная характеристика диаграммы обратного рассеяния оптического волокна.

Р, дБ

p1

p2

х1 хп х2 х

Рис. 3
Начальный выброс мощности светового потока обусловлен потоком отражения от торца волокна. Отдельные всплески соответствуют отражению светового импульса от локальных неоднородностей, которые возникают в соединительных муфтах оптического кабеля или в волокне. Последний всплеск кривой вызван отражением светового потока от торца световода. Точка хп соответствует месту повреждения оптического волокна. Так как на графике по горизонтальной оси отложена длина пути распространяющегося отражения, то можно определить место этого повреждения.

По кривой обратного рассеяния можно определить среднее значение коэффициента километрического затухания волокна на длине (х2-х1):

, дБ/км.