

# СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ при проектировании и эксплуатации волоконно-оптических линий связи

**А.Лотов**, аспирант МГТУ имени Н.Э. Баумана,  
инженер компании "Т8"/ lotov@t8.ru,

**К.Лотов**, студент МГТУ имени Н.Э.Баумана  
**В.Заварзин**, д.т.н., профессор МГТУ им. Н.Э.Баумана

УДК 621.396.22, DOI: 10.22184/2070-8963.2022.104.4.60.64

Представлены стадии проектирования волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и их особенности. Рассмотрены вопросы технической эксплуатации и организации технического обслуживания ВОЛС. Предлагаются способы повышения надежности на этапах проектирования и эксплуатации ВОЛС.

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня отрасль телекоммуникаций является одной из самых динамично развивающихся отраслей российской, как и мировой, экономики. Спрос на емкость каналов связи удвоился за несколько лет. Единственное средство, способное удовлетворить столь быстро растущие потребности в объемах передаваемой информации, – волоконно-оптические линии связи. Земной шар окутан сетью оптических волокон, соединяющих города по всему миру [1]. С ростом объема передаваемых данных возрастают и требования к надежности ВОЛС.

Надежность работы ВОЛС – это свойство, характеризующее способность линии обеспечивать передачу требуемой информации с заданным качеством

в течение определенного промежутка времени [2]. Надежность закладывается при проектировании и "расходуется" при эксплуатации линии.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛС

Любое строительство ВОЛС должно начинаться с проектирования.

Проектирование – трудоемкий и сложный процесс. Проектирование ВОЛС включает следующие стадии:

- маркетинговые исследования;
- подготовительная стадия;
- анализ;
- разработка проектной документации;
- согласование проекта и получение разрешения на строительство;

- строительно-монтажные работы (СМР) [3];
- измерения и паспортизация построенной ВОЛС;
- сдача объекта.

Процесс проектирования ВОЛС начинается с маркетинговых исследований и анализа желаний потребителей [4].

Подготовительная стадия включает два этапа: экономический и технический. На экономическом этапе анализируется перспектива развития ВОЛС на месте предполагаемых работ.

Второй подготовительный этап – технический. На этом этапе проводятся мероприятия, направленные на изучение природных условий местности, а также будущей трассы. По результатам подготовительной стадии анализируются результаты проведенных исследований.

На следующем этапе разрабатывается проектная документация, при подготовке которой необходимо придерживаться следующей последовательности:

- сбор исходных данных;
- подготовка схемы организации каналов (канальной схемы);
- подготовка расчета параметров качества волоконно-оптических каналов;
- подготовка спецификации и коммерческого предложения (КП);
- подготовка принципиальной схемы проектируемой сети.

По дополнительному запросу к проектной документации могут добавляться следующие приложения:

- расчет оптического бюджета;
- расчет потребляемой мощности;
- расчет надежности каналов.

Перед началом проектирования важно знать основные требования, соблюдение которых гарантирует соответствие разработанного проекта конечным целям заказчика. При составлении проекта с заказчиком оговариваются исходные данные для проекта, которые описывают требования последнего к проектируемой сети. Исходными данными могут служить переписка с заказчиком, его устные комментарии, а также техническое задание.

Исходные данные содержат следующие положения [5]:

- узлы сети;
- объем информации, передаваемой по волоконно-оптической линии. Учитывается список организуемых каналов (протокол передачи, терминальные узлы канала)

и возможное расширение сети в части количества каналов. Для организации каналов используются каналообразующее оборудование, для классификации которого принята следующая терминология:

- ▶ транспондер осуществляет передачу одного цифрового сигнала от клиентского оборудования на одной длине волны DWDM (Некоторые транспондеры поддерживают коррекцию ошибок FEC или Super FEC);
- ▶ агрегирующий транспондер осуществляет передачу на длине волны DWDM нескольких клиентских сигналов, объединенных в один высокоскоростной поток (Все агрегирующие транспондеры поддерживают коррекцию ошибок либо FEC, либо Super FEC);
- ▶ агрегатор имеет функционал агрегирующего транспондера, но использует линейные xFP-модули для передачи сигнала;
- необходимость резервирования каналов, каналообразующего оборудования, трактов и кабельных линий;
- расстояния и тип оптического волокна между узлами и, по возможности, затухания на участках волокна;
- при проектировании ВОЛС важно уделять особое внимание мероприятиям, направленным на повышение надежности [6]. Одним из основных типов повреждений оптического кабеля (ОК) являются повреждения грызунами. Для борьбы с грызунами целесообразно применять в конструкции кабеля специальную броню из стеклопластиковых прутков или стальных проволок;
- характеристика электропитания на узлах (напряжение, AC/DC);
- необходимость организации служебного канала для обеспечения возможности дистанционного управления и мониторинга оборудования. Для сложных сетей необходимость организации служебного канала на конкретном участке определяется исходя из условий обеспечения резервирования маршрутов в сети управления;
- желаемый запас по свободным слотам в шасси на узлах ввода-вывода каналов для последующего расширения (для выбора емкости шасси);
- необходимость поставки сетевой системы управления ВОЛС;
- условия прокладки и эксплуатации ВОЛС.

При подготовке схемы организации каналов (канальной схемы) волоконно-оптических линий связи используется принцип симметрии. Суть данного принципа заключается в следующем: элементы, через которые проходит сигнал по линии связи в прямом направлении, должны соответствовать элементам, через которые он пройдет в обратном. Это обеспечивает одинаковые характеристики передачи в обоих направлениях. Исключения допустимы в случае функционального различия узлов (например, терминальный узел и усилительный узел). Поэтому при расчете важно просчитывать качество сигнала при прохождении как в прямом, так и обратном направлении.

Также при подготовке схемы важно оптимизировать расчет организации каналов. Основная цель оптимизации расчета – обеспечить наибольший запас по OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio, оптическое отношение сигнал/шум) для заданного набора оборудования. Стоит отметить, что с ростом мощности увеличивается не только OSNR, но также и нелинейные искажения сигнала.

Для удешевления решения усилительного оборудования вместо двух отдельных усилителей применяются двухкаскадные усилители (усилители с межкаскадным доступом). Двухсекционные усилители могут быть использованы как усилитель приема и усилитель передачи в одном корпусе.

Если одна часть двухсекционного усилителя используется как предусилитель, а другая – как бустер, то такой усилитель должен работать только на одно направление (при отказе усилителя в узле пропадает только одно направление для связи, и в случае организации кольцевого резервирования каналов соединение обеспечивается через оставшиеся направления).

В случаях, когда использование представленных выше конфигураций усиления не позволяет обеспечить передачу сигнала с необходимым качеством ввиду чрезмерно больших потерь в кабельном участке, могут быть применены специальные варианты усилителей. К ним относятся эрбиевые усилители с удаленной накачкой (ROPA) и рамановские усилители со встречной накачкой (RA-F).

После подготовки канальной схемы и расчета качества оптических каналов составляется коммерческое предложение (КП), которое согласовывается с заказчиком.

КП – это документ, содержащий техническую спецификацию оборудования и информацию

о стоимости предлагаемого технического решения по организации каналов связи в соответствии с техническими требованиями заказчика.

В КП в обязательном порядке должна присутствовать базовая информация о проектируемой линии или сети связи (кол-во узлов, длины участков, тип волокна) и проектируемых каналах (протокол передачи, кол-во организуемых каналов).

В КП может отсутствовать схема в случае, если оно оценочное. В таком случае в документе будет присутствовать все основное оборудование, однако допускается упрощенный подсчет количества усилителей без конкретизации коэффициентов усиления.

В результате согласования КП с заказчиком разрабатывается принципиальная схема проектируемой сети. С помощью принципиальной схемы инженеры инсталляции устанавливают и подключают оборудование на узлах заказчика.

Принципиальная схема отражает:

- соединения блоков оборудования друг с другом внутри каждого узла;
- расстояния и типы волокон на участках между узлами;
- распределение блоков по шасси.

По окончании разработки принципиальной схемы с заказчиком согласовывается весь проект и получается разрешение на строительство.

В будущем может потребоваться расширение существующей сети. Для этого без организации новых линий связи с заказчиком оговариваются следующие положения:

- список организуемых каналов (протокол передачи, терминальные узлы канала);
- необходимость резервирования каналов и каналобразующего оборудования.

Следующий этап – строительно-монтажные работы. Следует иметь в виду, что на данном этапе важно проводить измерения для проверки расчетных параметров и работоспособности сети.

Все измерения в ВОЛС разделяют на два класса: эксплуатационные и системные. Эксплуатационные измерения проводятся для проверки параметров, отвечающих за функционирование системы в целом. К ним относятся измерения дисперсии, затухания и других параметров. Проводятся измерения как отдельных элементов и участков сети, так и всех линий связи.

Системные измерения осуществляются для определения состояния волокна и его целостности.

После того как этап строительно-монтажных работ завершился, построенная ВОЛС сдается в эксплуатацию заказчику.

## Эксплуатация ВОЛС

Эксплуатация волоконно-оптических систем заключается в поддержании их непрерывной работы [7]. Для достижения непрерывной работы ВОЛС инженерам служб технического контроля необходимо регулярно следить за качеством и состоянием построенной линии, проводить мероприятия по профилактике и предупреждению аварий, а также своевременно устранять появляющиеся неисправности.

Выделяют следующие основные функции службы эксплуатационно-технического обслуживания ВОЛС:

- профилактическое и техническое обслуживание;
- мониторинг технического состояния ВОЛС [8];
- обновление устаревшего оборудования;
- работы по восстановлению функционирования в случае аварии;
- проведение измерений технических параметров.

Профилактические мероприятия обслуживания ВОЛС предназначены для своевременного выявления неисправностей и дальнейшего их устранения с целью предотвращения ухудшений качества сети.

Для мониторинга технического состояния ВОЛС применяются автоматизированные системы, которые позволяют непрерывно осуществлять контроль параметров линии, что способствует своевременному обнаружению неисправностей. Инженеры, обслуживающие сеть, должны быть способны изменять настройки оборудования, отслеживать состояние и режимы работы устройств, получать данные о передаваемых сигналах.

Автоматизированная система позволяет обнаружить следующие типы аварий:

- увеличение количество битовых ошибок. Для обнаружения ошибок в системе применяются специальные счетчики ошибок, которые позволяют посчитать как единичные ошибки, так и групповые;
- ухудшение или пропадание сигнала на выходе и входе в устройства. В современном оборудовании разработаны специальные алгоритмы, которые в случае потери уровня мощности на входе в оборудование отключают передатчик на выходе

системы и тем самым не передают сигнал дальше. Данный алгоритм помогает инженерам службы мониторинга быстрее обнаружить неисправности на сети;

- повышение температуры устройства;
- выход из строя определенных блоков шасси.

Для контроля состояния аппаратуры важно проводить эксплуатационные измерения. Выделяют следующие виды эксплуатационных измерений:

- профилактические – проводятся согласно заранее утвержденному плану;
- аварийные – предназначены для обнаружения места аварии;
- контрольные – выполняются после ремонтно-восстановительных работ для проверки качества ремонта ВОЛС.

Важнейшим показателем работы инженеров мониторинга сети является своевременность устранения выявленных повреждений. В случае, если на сети произойдет авария, то необходимо принять меры по ее устранению как можно скорее.

При расчете времени восстановления сети выделяют следующие составляющие:

- время для обнаружения места аварии;
- в случае если возникшая авария не решается удаленно, то необходимо учитывать время на подготовку выездных инженеров, а также время на дорогу до места аварии;
- время на восстановительные работы.

При расчете скорости восстановления сети необходимо учитывать следующие факторы:

1. Оснащенность выездных инженеров. Для обнаружения повреждений применяют следующие измерительные приборы: оптические рефлектометры и оптические тестеры. Рефлектометр (OTDR) используют для проверки целостности оптического волокна. Принцип работы прибора основан на анализе отраженных оптических импульсов [9]. При помощи отраженных импульсов инженеры получают информацию о состоянии оптического волокна. Второй прибор – оптический тестер. Этот прибор более простой по сравнению с рефлектометром и предназначен для измерения потерь внутри оптической линии.
2. Уровень подготовки и количественный состав выездных инженеров.
3. Актуальность информации в базе о составе обслуживаемого оборудования. В автоматизированной базе должна содержаться информация о всех спроектированных линиях связи и их последующих модернизациях.

При эксплуатации ВОЛС происходят изменения параметров линии, появляются повреждения, ухудшается качество передачи сигнала; в результате увеличивается количество поврежденных передаваемых файлов и снижается пропускная способность системы в целом. Восстановительные работы требуют определенных затрат:

- на выявление скрытых повреждений;
- на профилактические работы;
- на замену оборудования.

В результате перед инженерами эксплуатации сети встает вопрос как поступить: либо продолжить эксплуатировать ВОЛС, если ухудшения не критичны, либо проводить мероприятия, направленные на повышение надежности?

Оптимальным вариантом решения поставленного вопроса является разработка методики проведения профилактических мероприятий, которая будет способствовать своевременному обнаружению аварий и минимизации затрат на улучшение функционирования ВОЛС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Волоконная оптика продолжает бурно развиваться, и главной движущей силой этого развития по-прежнему является потребность в создании еще более высокоскоростных волоконно-оптических систем связи.

Для повышения надежности ВОЛС при проектировании необходимо:

- применять принцип симметрии при подготовке схемы организации каналов связи;
- использовать специальные варианты усилителей: усилители с удаленной накачкой (ROPA) и рамановские усилители со встречной накачкой (RA-F);
- организовывать резервирование каналов связи;
- учитывать условия прокладки оптического кабеля и его особенности: чувствительность к влаге, к механическим нагрузкам.

Для поддержания надежности ВОЛС при эксплуатации необходимо:

- совершенствовать автоматизированные системы мониторинга технического состояния ВОЛС;
- проводить обслуживание и выполнение аварийных и ремонтно-восстановительных работ с привлечением современного оборудования;
- вести разработку методик проведения профилактических мероприятий, которые будут способствовать своевременному обнаружению аварий;

- поддерживать актуальность информации в базе о составе обслуживаемого оборудования и версиях ПО;
- проводить обучающие мероприятия для инженеров, обслуживающих ВОЛС;
- поддерживать оптимальную температуру для работы телекоммуникационного оборудования и для хранения ЗИП.

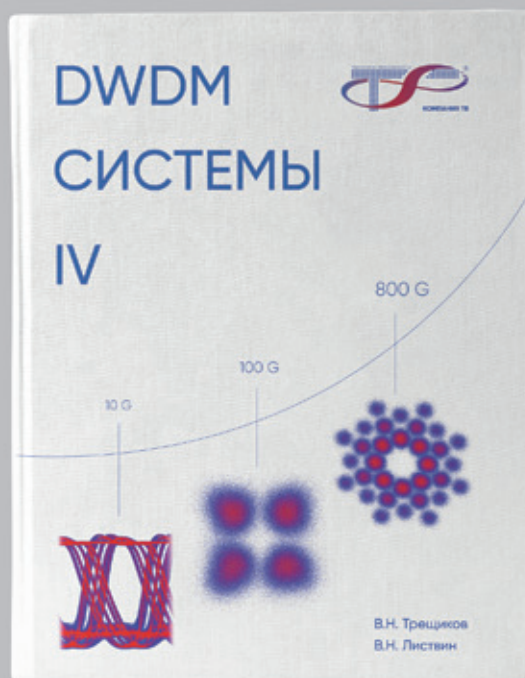
В ближайшие 10 лет в России предстоит заменить более нескольких сотен тысяч километров волоконно-оптических линий связи. Знание особенностей проектирования и эксплуатации ВОЛС будет способствовать в решении трудной задачи – создании ВОЛС с требуемым уровнем надежности и минимальными затратами временных и денежных ресурсов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Васильев А.Б., Воронин В.Г., Камынин В.А., Лукиных С.Н., Наний О.Е.** Механизмы потерь в одномодовых волоконно-оптических линиях связи: Учебно-методическое пособие. М.: Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 2016. 43 с.
2. **Иманкул М.Н., Касимова Г.Д.** Исследование методов проектирования волоконно-оптических систем передачи // ЕГИ. 2014. № 1 (3). С. 6–13.
3. **Ефанов В.И.** Проектирование, строительство и эксплуатация ВОЛС: Учебное пособие. Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. 102 с.
4. **Лотов А.И., Прокудин В.Н.** Управление жизненным циклом оптического прибора при помощи автоматизированных систем // Экономика высокотехнологичных производств. 2020. Т. 1. № 3. С. 127–136.
5. **Бейли Д., Райт Э.** Волоконная оптика: теория и практика / Пер. с англ. М.: КУДИЦ-Образ, 2006. 320 с.
6. **Хволес Е.А., Ходатай В.Н., Шмалько А.В.** Волоконно-оптические линии связи и проблемы их надежности // ВКСС. 2000. № 4. С. 12.
7. **Фриман Р.** Волоконно-оптические системы связи. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2017. 512 с.
8. **Гайнуллин Р.Р., Киселев В.В.** Система мониторинга ВОЛС корпоративной сети // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2010. № 4. С. 7.
9. **Музалевская В.Ю., Смеликова И.Н.** Принцип действия и основные характеристики оптического рефлектометра во временной области // Бюллетень научных сообщений. 2013. № 18. С. 101–105.



# ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



*В.Н. Трещиков, В.Н. Листвин*

## **DWDM-системы**

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 420с.  
ISBN 978-5-94836-634-0

**Цена 1960 руб.**

В книге собран курс лекций по DWDM-системам, предназначенный для специалистов, занимающихся разработкой, внедрением и эксплуатацией DWDM-оборудования. Это четвертое издание, расширенное и дополненное, состоящее из четырех разделов. В первой части рассмотрены основы DWDM-систем, история их возникновения и эволюция, во второй части — компоненты волоконно-оптического тракта, в третьей — приемник и передатчик каналообразующего оборудования, в четвертой части — механизмы формирования шумов и способы их расчета применительно к волоконно-оптическим линиям связи.

### **Как заказать наши книги?**

По почте: 125319, Москва, а/я 91  
По факсу: (495) 956-33-46  
E-mail: [knigi@technosphere.ru](mailto:knigi@technosphere.ru)  
[sales@technosphere.ru](mailto:sales@technosphere.ru)

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ  
[www.technosphere.ru](http://www.technosphere.ru)