Оглавление

[Исходные данные 3](#_Toc16211566)

[Введение 4](#_Toc16211567)

[Теоретические сведения 6](#_Toc16211568)

[Выбор оптического кабеля 13](#_Toc16211569)

[Расчет параметров волоконных световодов 15](#_Toc16211570)

[Расчет показателя преломления компонентов волоконного световода 15](#_Toc16211571)

[Расчет числовой апертуры световода 16](#_Toc16211572)

[Расчет затухания световодов 16](#_Toc16211573)

[Расчет дисперсии оптического волокна 16](#_Toc16211574)

[Расчет коэффициента фазы, волнового сопротивления и скорости передачи по световодам 17](#_Toc16211575)

[Определение длины регенерационного участка 18](#_Toc16211576)

[Определение длины регенерационного участка по затуханию оптического кабеля 18](#_Toc16211577)

[Определение длины регенерационного участка по пропускной способности оптического кабеля 19](#_Toc16211578)

[Расчет технических характеристик магистральной ВОСП 19](#_Toc16211579)

[Паспортные технические данные приемопередающего оборудования и ВОК, используемые при расчетах дисперсии и затухания 19](#_Toc16211580)

[Расчет дисперсии ВОСП 20](#_Toc16211581)

[Расчет энергетического бюджета 20](#_Toc16211582)

[Сметно-финансовый расчёт 21](#_Toc16211583)

[Заключение 22](#_Toc16211584)

[Литература 23](#_Toc16211585)

# Исходные данные

Проектирование выполняется для следующих исходных данных:

* участок железной дороги – Кочелай – Ульяновск;
* мультиплексор – FlexGain A155;
* интерфейс – S4.1;
* производитель оптического кабеля – Эликс-кабель;
* тип прокладки – подвес.

# Введение

Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) - это вид системы передачи, при котором информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам, известным под названием "оптическое волокно". ВОЛС - это информационная сеть, связующими элементами между узлами которой являются волоконно-оптические линии связи. Технологии Волс помимо вопросов волоконной оптики охватывают также вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии сети и общие вопросы построения сетей. Передача информации по ВОЛС имеет целый ряд достоинств перед передачей по медному кабелю. Стремительное внедрение в информационные сети Волс является следствием преимуществ, вытекающих из особенностей распространения сигнала в оптическом волокне. Широкая полоса пропускания - обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей 1014Гц. Малое затухание светового сигнала в волокне. Выпускаемое в настоящее время отечественными и зарубежными производителями промышленное оптическое волокно имеет затухание 0,2-0,3 дБ на длине волны 1,55 мкм в расчете на один километр. Низкий уровень шумов в волоконно-оптическом кабеле позволяет увеличить полосу пропускания, путем передачи различной модуляции сигналов с малой избыточностью кода. Высокая помехозащищенность. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т.д.). Малый вес и объем. Волоконно-оптические кабели (ВОК) имеют меньший вес и объем по сравнению с медными кабелями в расчете на одну и ту же пропускную способность. Высокая защищенность от несанкционированного доступа. Поскольку ВОК практически не излучает в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно подслушать, не нарушая приема-передачи. Гальваническая развязка элементов сети. Данное преимущество оптического волокна заключается в его изолирующем свойстве. Взрыво- и пожаробезопасность. Из-за отсутствия искрообразования оптическое волокно повышает безопасность сети на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях, при обслуживании технологических процессов повышенного риска. Экономичность ВОК. Волокно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому недорогого материала, в отличии от меди.

# Теоретические сведения

Принципы построения первичной сети связи железнодорожного транспорта определяются его административной структурой и спецификой управления перевозочным процессом, так как по своей сущности транспортная связь является технологической.

Технологическая сеть связи ОАО «РЖД», являясь одним из компонентов отрасли, обеспечивает передачу и распределение информации, необходимой для нормального функционирования всех подразделений железнодорожного транспорта и удовлетворения потребностей населения в услугах связи.

Структура первичной аналоговой сети связи на железных дорогах соответствует иерархии управления отраслью и включает в себя четыре уровня сетей, как показано на рисунке 1.

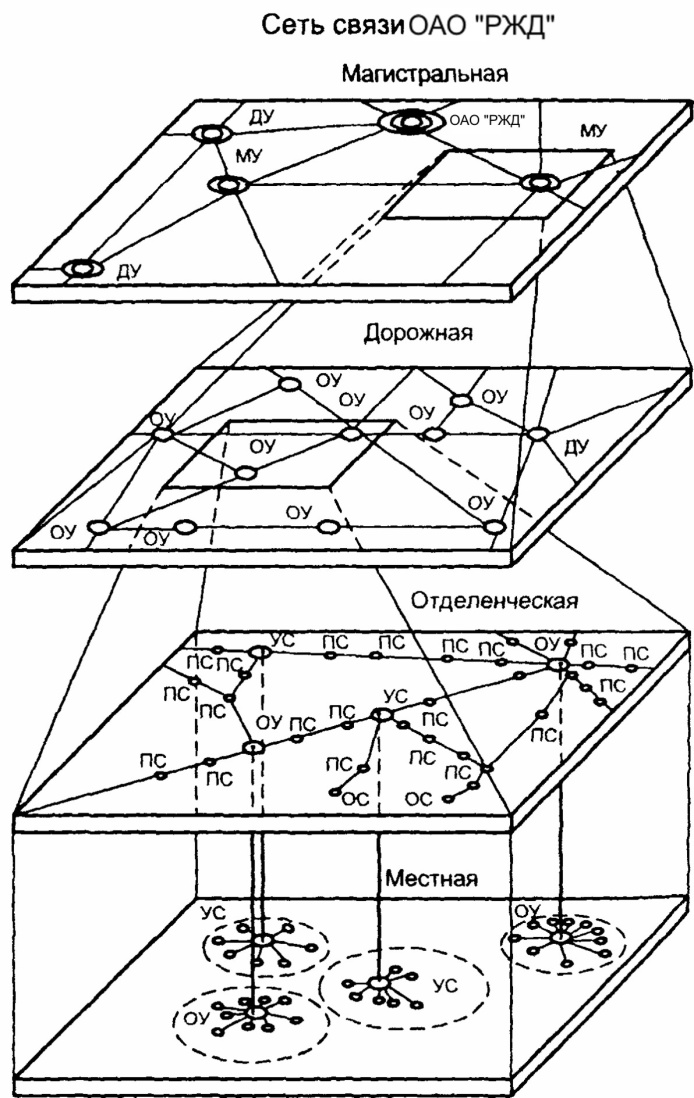


Рисунок 1 – Сеть связи РЖД

Магистральная сеть связывает главный магистральный узел связи (Центральная станция связи ОАО «РЖД») со всеми магистральными сетевыми узлами, в качестве которых используются узлы управления дорог и дорог между собой. Максимальная протяженность линейного тракта магистральной первичной сети железнодорожного транспорта принимается такой же, как и первичной сети общего пользования и составляет 12500 км.

Дорожная сеть обеспечивает связь между работниками управлений дороги и отделений, входящих в состав данной дороги, а также отделений и станций между собой. Она включает в себя дорожные, отделенческие сетевые узлы, а также сетевые узлы крупных участковых станций. Дорожная первичная сеть может рассматриваться как аналог зоновой сети Государственного комитета РФ по связи и информатике, однако максимальная длина ее линейного тракта достигает 1500 км.

Отделенческая сеть связи имеет ряд специфических особенностей, которые предопределяют выделение отделенческих связей в отдельный уровень иерархии. Отделенческая сеть служит для организации связи внутри отделения железной дороги и включает в себя все оконечные и промежуточные станции сети. При этом средняя дальность линейного тракта отделенческой первичной сети принимается равной 500 км.

Местная сеть связи обычно организуется в пределах крупных железнодорожных узлов и станций. Протяженность линий местной сети связи, как правило, не превышает 10 км.

Построение сети связи железнодорожного транспорта определяется конфигурацией сети железных дорог и структурой управления. Поэтому одна из основных особенностей построения первичных сетей связи ОАО «РЖД» является организация по одной и той же кабельной линии передачи, проложенной вдоль полотна железной дороги, одновременно всех видов магистральных, дорожных и отделенческих связей. Это обстоятельство непосредственно влияет на структуру построения первичной сети и предъявляет особые требования к системам передачи. Первичная сеть связи как основа системы электросвязи ОАО «РЖД» определяет ее главные качественные характеристики: надежность, пропускную способность, управляемость и технико-экономические показатели.

Принципы построения перспективной первичной сети связи ОАО «РЖД» заключаются в следующем:

1. первичная сеть должна быть цифровой; линии связи необходимо организовывать только на основе стандартных цифровых каналов и трактов;
2. первичная сеть должна иметь такие структурные и функциональные характеристики, чтобы имелась возможность ее использования для любых вторичных сетей общего пользования, ведомственных, частных и т.п.;
3. топология первичной сети должна экономично реализовывать структуры всех вторичных сетей электросвязи и быть оптимальной с точки зрения их постепенной интеграции;
4. первичная сеть должна содержать систему управления для поддержания заданных показателей надежности и качества функционирования;
5. должна обеспечиваться возможность существенного расширения пропускной способности по мере предоставления пользователям вторичных сетей новых услуг, требующих широкополосных каналов, а именно: видеосвязь, видеоконференции, промышленное телевидение, связь компьютерных сетей в реальном масштабе времени.

При разработке цифровой сети связи ОАО «РЖД» следует учитывать ряд характерных ее особенностей. Сеть концентрируется вдоль железной дороги, полностью отражая при этом ее конфигурацию. Основной функцией первичной сети является формирование единого информационного потока, проходящего через последовательно расположенные пункты выделения, где часть потока ответвляется с целью обслуживания абонентов местной сети. Другой особенностью является то, что в большинстве пунктов выделения ответвляется незначительная часть потока, составляющая от долей до нескольких процентов от главного потока.

На первичной сети в качестве систем передачи должны использоваться системы передачи синхронной СЦИ (STM) (Sinchronous Digital Hierarhi) и плезиохронной ПЦИ (PDH) (Plesiochronouns Digital Hierarhi) при рациональном их сочетании.

Отечественные волоконно-оптические системы передачи (ВОСП), такие как Сопка 4М (140 Мбит/с), Сопка 3М (34 Мбит/с) основаны на плезиохронной цифровой иерархии стандартного для СНГ ряда: ИКМ-30, 120, 490, 1920 и имеют недостатки, усложняющие их применение в цифровых сетях с многократным вводом-выводом цифровых потоков 2,048 Мбит/с и их распределением. Главный недостаток связан с применением в ВОСП ПЦИ посимвольного мультиплексирования цифровых потоков, начиная с 2 Мбит/с. Такой способ приводит к использованию двух-, трехкратного мультиплексирования/демультиплексирования на передающей и приемной и промежуточной станциях ввода-вывода, что существенно усложняет аппаратуру.

В качестве основной системы передачи на волоконно-оптических магистральной сети связи рекомендуется использовать аппаратуру синхронной цифровой иерархии СЦИ.

В настоящее время ведущие зарубежные фирмы выпускают оборудование СЦИ, рассчитанное на скорости передачи 155 Мбит/с (STM-1), 622 Мбит/с (STM-4), 2488 Мбит/с (STM-16) и 9953 Мбит/с (STM-64) с коэффициентом мультиплексирования, равным четырем. У мультиплексора первого уровня входными потоками могут быть потоки ПЦИ. Мультиплексоры более высоких уровней взаимодействуют как с потоками ПЦИ, так и с потоками STM нижних уровней.

Сигналы, скорость передачи которых соответствует стандартному ряду скоростей СЦИ, получили название трибов СЦИ.

Применяемая в системах СЦИ система заголовков позволяет определить положение любого входного цифрового потока, погруженного в соответствующий виртуальный контейнер, транспортируемого модулями STM-1 и осуществлять его ввод-вывод из транспортных модулей STM-1(N). Это существенно упрощает выделение цифровых потоков и каналов не только на оконечных, но и на промежуточных пунктах волоконно-оптической линии связи.

Для построения СЦИ используются терминальные мультиплексоры (ТМ) и мультиплексоры ввода-вывода (АDМ). Каждый из них способен выполнять функции концентратора, коммутатора, кросс-коннектора и регенератора.

Основой сети современной цифровой сети связи должна быть хребтовая структура, состоящая из одной или нескольких систем STM, расположенных вдоль железной дороги. Количество и тип систем STM определяются общей емкостью информационного потока, который должен быть обеспечен на данном участке, а количество потоков 2,048 Мбит/с, выделяемых на станциях, зависит от числа терминалов местной сети, которым необходим доступ в сеть связи ОАО «РЖД».

При таком построении в определенной степени сглаживаются традиционные понятия магистрального, дорожного и отделенческого уровней сети и цифровая сеть отражает двухуровневую систему, имеющую уровень транспортной сети и уровень абонентского доступа (рис.2). Первичные потоки, используемые для магистральной, дорожной и отделенческой сетей, большей частью интегрируются в потоках STM-1, STM-4, обеспечивающих многократный ввод-вывод компонентных потоков 2,048 Мбит/с из высокоскоростного группового потока.



Рисунок 2 – Двухуровневая топология сети связи ОАО «РЖД»

Кольцевание сети должно быть реализовано, исходя из следующих принципов. В случае, когда железные дороги проходят параллельно, кольцевание осуществляется с использованием поперечных рокадных направлений или с использованием инфраструктуры других ведомственных сетей. На линейной сети связи, проложенной вдоль железной дороги, также формируется кольцевая структура. Малые кольца плоской структуры организуются в пределах отделения дороги и диспетчерского участка. Режим резервирования определяется соответствующими программами работы синхронных мультиплексоров, устанавливаемых в сетевых узлах. Кольца большой протяженности организуются на дорожном и магистральном уровнях.

Вдоль железной дороги прокладывается ВОЛС с использованием систем передачи STM - 1/4.

На крупных и средних железнодорожных станциях (прил.2, рис.1,б) организуются сетевые узлы с синхронными мультиплексорами ввода-вывода ADM с функциями кросс-коннектора, обеспечивающими ответвление высокоскоростных потоков (155, 140 Мбит/с), распределение компонентных потоков, взаимодействие STM-1 и STM-4 нижнего уровня, разветвление потоков по направлениям на узловых железнодорожных станциях, а также выделение необходимого количества потоков 2,048 Мбит/с.

На уровне магистральной и отделенческой связи, как правило, должны использоваться системы STM-1. На некоторых направлениях, например, там, где возможен большой коммерческий трафик с промежуточных станций, целесообразно применение STM-4.

Управление сетью реализуется с помощью системы ТМN (Telecommunication Management Network).

Терминалы абонентов местной сети включаются в коммутационное оборудование вторичных сетей, которое в свою очередь через стыки 2,048 Мбит/с подключаются к первичной сети СЦИ. Для подтягивания абонентов малых станций используются отдельные тракты, рассчитанные на скорость 2,048 Мбит/с, которые могут быть организованы по волокнам того же кабеля, по которому работают системы СЦИ.

Абоненты ОбТС крупных станций, на которых могут быть расположены дорожные или отделенческие узлы, включаются в местную АТС-Ц, которая через УАК-Ц подключается к общетехнологической сети МПС. На средних станциях узлообразование в ОбТС может быть реализовано с помощью транзитной АТС-Ц. Абоненты различных сетей передачи данных также включаются в свои сети через коммутационное оборудование своей сети. Коммутатор технологической связи формирует режимы установления соединений для всех видов технологической связи, включая избирательную связь, связь совещаний, громкоговорящее оповещение, поездную радиосвязь и мобильную связь с абонентами на перегоне с использованием соответствующих радиосредств, автоматизированные рабочие места, телефонную местную связь с приоритетным доступом.

При организации дорожных сетей ОТС схема избирательной связи с использованием цифрового коммутатора остается такой же, как для диспетчерского участка отделения дороги. В управлении дороги устанавливается цифровой коммутатор, работающий в режиме исполнительных станций.

Групповые каналы формируются в выделенном потоке 2,048 Мбит/с. На средних и малых станциях могут быть использованы гибкие мультиплексоры, обеспечивающие доступ в сеть связи через широкую номенклатуру интерфейсов типа X, V, nx64 кбит/с, ТЧ и др. На малых станциях гибкий мультиплексор может заменить коммутатор технологической связи и служить для включения абонентских устройств в коммутационное оборудование соответствующих вторичных сетей соседних станций, а на средних станциях – расширить функции коммутатора.

# Выбор оптического кабеля

В качестве основного вида направляющей системы передачи при новом строительстве и увеличении пропускной способности действующей сети следует применять волоконно-оптический кабель, так как обладает наибольшей помехозащищенностью, пропускной способностью и допускает различные варианты подвески, прокладки в зависимости от условий эксплуатации. В настоящее время стоимость оптических кабелей сопоставима, а в ряде случаев ниже стоимости магистральных симметричных кабелей связи.

Оптические кабели, используемые при строительстве ВОЛС на грузонапряженных участках железных дорог, должны иметь не менее 16 волокон; на малозагруженных участках или для подключения удаленных для магистрали объектов – не менее 8 волокон для обеспечения резервирования и защиты. Оптические волокна при этом должны быть одномодовыми и сертифицированы для длин волн 1,31 мкм и 1,55 мкм.

В данном проекте целесообразно использование ВОК на 16 ОВ, что позволит обеспечить потребности участка Качелай – Ульяновск в современной и эффектив6ной связи, а также резервирование и запас на перспективное развитие.

Используется кабель типа ДПТ производства Эликс-кабель. Кабель предназначен для подвески на опорах линий электропередач, контактной сети железных дорог, на опорах линий связи, а так же для прокладки в специальных защитных пластмассовых трубах, при повышенном уровне внешних электромагнитных воздействий. Характеристики кабеля:

* тип волокна – одномодовое;
* количество волокон – до 144;
* растягивающее усилие – до 25 кН;
* внешний диаметр – 14 мм;
* масса кабеля – 170 кг/км;
* строительная длина – 5 км.

Конструкция кабеля ДПТ показана на рисунке 3.



Рисунок 3 – Конструкция оптического кабеля

# Расчет параметров волоконных световодов

## Расчет показателя преломления компонентов волоконного световода

Частотная (волновая) зависимость коэффициента преломления оптического материала определяется выражением:



Коэффициенты и  для материалов сердечника и оболочки приведены в таблице 1. В качестве оболочки используется чистое кварцевое стекло, а в качестве сердечника – легированный оксидом германия (содержание Ge2O2 – 3,1 %) кварц.

Таблица 1 – Коэффициент Селмейера

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Коэффициент |  | | |
| 1 | 2 | 3 |
| Сердцевина |  | 0,7028554 | 0,4146307 | 0,897454 |
|  | 0,0727723 | 0,1143085 | 9,896161 |
| Оболочка |  | 0,6961663 | 0,4079426 | 0,8974794 |
|  | 0,0684043 | 0,1162414 | 9,896161 |

Передача осуществляется на длине волны 1310 нм – типичное значение для интерфейса S4.1. Для этих значений коэффициенты преломления материалов сердцевины и оболочки оптического волокна составят соответственно  и .

Выбранные коэффициенты должны обеспечивать одномодовый режим работы. Для проверки вычисляется критическая частота:



Поскольку , то условие одномодовости выполняется.

## Расчет числовой апертуры световода

Числовая апертура ОВ определяется выражением:



Поскольку , то ОВ пригодно для магистральной связи.

## Расчет затухания световодов

Потери на поглощение энергии в материале световода:

 дБ/км

Потери на релеевское рассеяние:



 дБ/км

Собственные потери в световоде:

 дБ/км

## Расчет дисперсии оптического волокна

В одномодовых световодах проявляются материальная и волноводная дисперсии. Они рассчитываются по формулам:

 и 

Удельная материальная дисперсия:

 пс/(нм∙км)

Производная коэффициента преломления по длине волны:



Удельная волноводная дисперсия:



При ширине спектра 2,4 нм составляющие дисперсии:

 пс/км и 

Полное километрическое уширение импульса:

 пс/км

## Расчет коэффициента фазы, волнового сопротивления и скорости передачи по световодам

Волновое сопротивление определяется условием:



Волновое сопротивление идеальной среды:

 Ом

Тогда:

 Ом

Волновое число идеальной среды:



Волновое число оболочки и сердцевины:

 и 

Коэффициент фазы:

 рад/км

Фазовая скорость:

 м/с

# Определение длины регенерационного участка

## Определение длины регенерационного участка по затуханию оптического кабеля

Длина регенерационного участка для заданной аппаратуры передачи и заданном качестве связи определяется характеристиками оптического кабеля: затуханием и дисперсией. Затухание лимитирует длину участка по потерям в тракте передачи. Дисперсия приводит к расширению импульсов, которое возрастает с увеличением длины линии, что приводит к повышению вероятности ошибки передаваемой информации.

Минимально допустимая мощность на входе приёмной части регенерационного устройства с учётом всех затуханий в кабеле регенерационного участка определяется выражением:



Мощность передатчика и чувствительность приёмника для заданного типа аппаратуры и интерфейса составляют  дБм и  дБм. Потери при вводе светового пучка в волокно и выводе из него составляют, как правило,  дБ и  дБ. При использовании современных методов сварки ОВ и лучших существующих коннекторов потери в неразъёмных и разъёмных соединения составят  дБ и  дБ.

Энергетический потенциал аппаратуры:

 дБ

Длина регенерационного участка, ограниченная затуханием составит:

 км

## Определение длины регенерационного участка по пропускной способности оптического кабеля

Скорость передачи информации ограничена межсимвольной интерференцией, вызванной дисперсионным уширением импульсов, в соответсвии с выражением:



Отсюда длина регенерационного участка, ограниченная пропускной способностью:

 км

# Расчет технических характеристик магистральной ВОСП

## Паспортные технические данные приемопередающего оборудования и ВОК, используемые при расчетах дисперсии и затухания

Проектируемая линия характеризуется следующими основными техническими данными:

1. Протяжённость ВОЛС – 215 км.
2. Показатель преломления сердцевины – 1,4586.
3. Рабочая длина волны – 1310 нм.
4. Количество муфт – 43.
5. Километрическое затухание – 0,108 дБ/км.
6. Количество разъёмных соединений – 66.
7. Потери на неразъёмных соединениях – 0,02 дБ.
8. Потери на разъёмных соединениях – 0,4 дБ.
9. Эксплуатационный запас для аппаратуры – 3 дБ.
10. Эксплуатационный запас для кабеля – 3 дБ.
11. Мощность источника оптического излучения - -8 дБм.
12. Чувствительность приёмника – -28 дБм.
13. Максимальная ширина спектра излучения – 2,4 нм.
14. Скорость передачи – 622,08 Мбит/с.

## Расчет дисперсии ВОСП

Поляризационная модовая дисперсия:

 пс

Хроматическая дисперсия:

 пс

Результирующая дисперсия:



## Расчет энергетического бюджета

Затухание ВОЛС:

 дБ

Бюджет линии:

 дБ

Отрицательное значение бюджета линии показывает на необходимость установки регенераторов, как и было покахзано в предыдущем разделе.

# Сметно-финансовый расчёт

При расчёте расходов на прокладку ВОЛС учитываются следующие расходы на строительные и монтажные работы:

1. Подвеска кабеля на опорах контактной сети – 380 руб/км (215 км).
2. Монтаж оптического кабеля при подвески на опорах контактной сети с числом стекловолокон 16 – 800 руб/км (215 км).

Итоговая смета работ приведена в таблице 1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование работ | Единица измерения | Количество | Стоимость, у.е. | |
| единичная | общая |
| А. Кабельная линия 1. Строительные работы  2. Монтажные работы | км трассы  км | 215  215 | 380  800 | 81700  172800 |
| Итого по пункту А |  |  |  | 254500 |
| Б. Стоимость кабеля  Плановые накопления | % | 215000  6 | 320 | 68800000  4128000 |
| Итого по пункту Б |  |  |  |  |
| Итого по пунктам А и Б  Начисления | % | 10 |  | 69054500  6905450 |
| Всего по смете |  |  |  |  |
| Стоимость 1 км оптической магистрали |  |  |  | 321183 |

# Заключение

В курсовой работе были представлены основные этапы проектирования волоконно-оптической линии связи между городами Волгоград и Саратов: расчет нагрузки, выбор системы передачи, трассы передачи, типа кабеля, метода прокладки, расчет параметров кабеля, длины регенерационного участка, а также упрощенный расчет грозозащиты для выбранного кабеля. Курсовая работа позволяет получить представление о порядке выполнения подобных проектов. В нашей стране еще в 1993 году было принято решение использовать только волоконно-оптические кабели на магистральных линиях связи, в 1996 - на внутризоновых. В настоящее время ВОЛС активно используются и на локальных компьютерных сетях, в сетях кабельного телевидения. Таким образом, навыки расчета ВОЛС являются необходимыми для качественного выполнения современных проектов в отрасли связи.

# Литература

1. И.И. Гроднев, А.Г. Мурадян, Р.М. Шарафутдинов и др. «Волоконно-оптические системы передачи и кабели: Справочник» – М.: Радио и связь, 1993. – 264 с.: ил.
2. В.А. Андреев, В.А. Бурдин, Б.В. Попов, А.И. Польников; Под ред. Б.В. Попова «Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи» – М.: Радио и связь, 1995. – 200 с.: ил.
3. И.И. Гроднев, Н.Д. Курбатов «Линии связи: Учебник для вузов». –4-е изд., перераб. и доп. – М.: Связь, 1980. – 440 с.: ил.