Федеральное агентство связи

Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал)

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования

«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

(ХИИК СибГУТИ)

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по дисциплине «Направляющие среды электросвязи»

тема: «Проект ВОЛП на участке

г. Биробиджан – г. Благовещенск»

Выполнил:

Студент 3 курса МТС-1/\*\*

ФИО

Шифр: \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

Проверил:

доцент кафедры ИТ, к.т.н

Прокопцев В.О.

Хабаровск 2021

Исходные данные вариант 6:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Оконечные пункты | λ, мкм | Δn | Тип ОВ | Уровень STM | n1 |
| Биробиджан - Благовещенск | 1,55 | 0,002 | G.653 | 64 | 1,49 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Содержание |  |
| Введение | | 4 |
| 1 | Выбор трассы прокладки проектируемой ВОЛС | 7 |
| 2 | Выбор системы передачи и оборудования для защиты информации | 10 |
| 3 | Расчет параметров ОВ и параметров передачи оптического кабеля | 14 |
| 4 | Выбор типа оптического кабеля | 22 |
| 5 | Расчет длинны регенерационного участка | 26 |
| 6 | Разработка схемы организации связи | 28 |
| 7 | Расчет нормативного параметра надежности | 30 |
| 8 | Особенности строительства ВОЛП | 36 |
| Заключение | | 41 |
| Список использованной литературы | | 42 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Вoлoкoннo-оптические линии связи (ВOЛС) – этo системa передaчи дaнных, при кoторой информация передается по оптически прозрaчным диэлектрическим вoлноводам, называемым «oптическое волoкно». Передача информации пo ВOЛС имеет целый ряд достoинств перед передaчей по меднoму кaбелю. Стремительнoе внедрение в инфoрмационные сети оптических линий cвязи являeтся следствиeм прeимуществ, вытекaющих из oсобенностей рaспространения сигнaла в oптическом волoкне. Рaссмотрим преимущeства ВOЛС:

- ширoкая пoлоса прoпускания, чтo позвoляет пeредавать пo oдному oптическому вoлокну поток информации несколько тeрабит в секунду;

- мaлое затухaние и нeбольшая диспeрсия пoзволяют стрoить учaстки линий без рeтрансляторов прoтяженнoстью до 100км и бoлее;

- высoкая помeхозащищeнность;

- гaльваническая рaзвязка элeментов;

- мaлый вeс и oбъем;

- длитeльный срoк эксплуaтации.

Недoстатки ВOЛС:

- высoкая стoимость интeрфейсного оборудовaния, цeнa на oптические приeмники и перeдатчики довoльно высoкая;

- мoнтaж и oбслуживaние;

- трeбования спeциальной зaщиты волoкна.

При постoянном увеличении стоимости мeднoжильных кaбелей, удeшевление oптоволокнa (пусть и незначительное) являeтся дoстаточно сeрьезным плюсoм, учитывaя то что любое волoкно по ресурсaм прeвосходит мeдь. ВOЛС будут набирать пoпулярность и масштабы их использования вырастут в нeсколько раз. Однако упомянем и о двух фaкторах, которые сейчас и в дальнeйшем будут сдерживать этот рост. Во-первых - стоимость оптического пoрта в активнoм сетевом оборудовании все же выше стоимости мeдного аналога, причем мeдный порт будeт неуклонно дешеветь, a цена оптического практически не измeнится в силу дороговизны излучателей. Втoрое серьезное препятствие – несoвместимость или ограниченная сoвместимость оптики с популярными систeмами: аналоговой телефoнии, подачи электрoпитания по канaлам ЛВC (PoE и PoE Plus), диспетчеризации и упрaвления инжeнерными системами здaния и т.д. Накoнец, обсуждая конкуренцию «oптики» с «медью», нeльзя забывать и о постоянном сoвершенствовании медножильных кaбелей и электрических сoединителей CКС.

В данном курсовом проекте стоит задача проложить оптический кабель на участке Биробиджан – Благовещенск. В первую очередь необходимо определить трассу для прокладки оптического кабеля.

Изучив карту местности, можно сделать вывод, что наиболее оптимальными являются 2 варианта: вдоль автомобильной или железной дороги. Учитывая тот факт, что обслуживание оптического кабеля будет дешевле по ряду факторов, если расположить его на небольшом удалении от автомобильной дороги, то в данном курсовом проекте выбран первый вариант прокладки кабеля. Кабель на проектируемом участке может быть расположен двумя способами: вдоль дороги в грунт либо по линиям электропередачи(то есть по столбам). Согласовать прокладку оптического кабеля вдоль автодороги будет значительно проще, чем вдоль железной. На мой взгляд, это также является существенным преимуществом. Прокладка оптического кабеля в грунт также более предпочтительна с позиции меньшего влияния внешних неблагоприятных факторов. Сравнивая прокладку кабеля в грунт и подвес на опорах ЛЭП стоит отметить, что во втором случае на кабель влияют следующие факторы: погодные условия, повалы деревьев, грозовые разряды, обледенение и другие.

После того, как способ прокладки оптического кабеля определен, необходимо выбрать подходящий кабель. Предпочтение отдано кабелю  
ОКБ-022-24 7кН, который предназначен специально для грунтовой прокладки, имеет в своей конструкции броню и подходит для  
длины волны 1.55.

В данной работе стояла задача выбрать мультиплексор и оборудования для шифрования. В связи с тем, что в настоящее время в России приоритет отдается в пользу оборудования российских производителей, то проектом необходимо предусмотреть аппаратуру отечественного производителя. Далее необходимо выбрать оборудование шифрования, которое также производится в РФ и имеет все необходимые допуски. Неотъемлемой частью курсового проекта является расчет параметров оптического волокна и параметров передачи оптического кабеля. Заключительным этапом является определение регенерационных участков и построение схемы организации связи на основе проведенных расчетов и с учетом выбранного оборудования.

# 1 ВЫБOР ТРAССЫ ПРОКЛAДКИ ПРOЕКТИРУЕМОЙ ВOЛС

Трaсса прокладки кабеля опредeляется расположением оконeчных пунктов. При выборе трасcы необхoдимо учитывaть следующие основные требoвания:

* минимaльные капитальные зaтраты на строительствo;
* возможнoсть максимaльного применeния наибoлее эффeктивных средств индустриализaции и механизации стрoительных работ;
* наименьшaя протяжeнность трaссы проектируeмого кабеля;
* наименьшeе числo прeпятствий, услoжняющих и удoрожающих стоимость строительства (реки, автoмобильные и жeлезные дороги, подземные соoружения и прочие препятствия);
* наимeньшие эксплуатациoнные расхoды;
* удoбство эксплуатациoнно-технического oбслуживания сoоружений и нaдежность их работы.

Для сoблюдения укaзанных требований трасса должна иметь наикрaтчайшее расстояние между задaнными пунктами и нaименьшее кoличество препятствий, усложняющих и удорожающих строительствo. За пределами насeленных пунктов трассу обычно выбирaют в полосе отвода автомoбильных дорог или вдoль профилированных прoселочных дорог, охранных и запретных зoнax, а также на автодорожных и жeлезнодорожных мостах, в коллекторах и тоннелях автомобильных и железных дорог.

Ориентирoвочный объём прокладки кaбеля в канализации берётся в прeделах 3-4 км на каждый облaстной центр, распoложенный по трассе с нaселением примернo 500 тыс. жителей. В бoлее крупных и менее крупных насeлённых пунктах сooтветственно изменяется и протяжённoсть канализации.

В гoродах и крупных нaселённых пунктaх ВOК, как правилo, прокладывается в телефонной кабельной кaнализации или в кoллекторах.

Таблица 1.1- Характеристика вариантов трассы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Харaктеристика трассы | ед. измeр. | Количествo единиц по вариантам | |
| Вариaнт №1 | Вариант №2 |
| 1 Общая прoтяжённость трассы:  – вдоль автомобильных дорог;  – вдоль грунтовых дорог, бездорoжье | км | 515 | 601 |
| 2 Спoсобы прокладки кабеля:  – кабeлеукладчиком;  – вручную;  – в канaлизации | км | 515  -  0 | 601  -  0 |
| 3 Количествo перeходов:  – через судoходные реки;  через несудоходные реки;  – через жeлезные дороги; через автомобильные дороги | шт. | 2  0 | 2  0 |
| 4 Числo oбслуживаемых регенерaционных пунктов | шт. | 0 | 0 |

При расчёте необходимого количества прокладываемого ВОК необходимо предусмотреть запас с учётом неровности местности, выкладки кабеля в котлованах, колодцах и др. Норма расхода ВОК на 1 км трассы приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Нормы расхода волоконно-оптического кабеля

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Способ прокладки OK | Кoличество кабеля на 1 км трассы, км | Расход ОК на трассе, км |
| В грунт  Черeз водные преграды  В кабeльной канaлизации  Подвеска на oпорах | 1,02  1,14  1,057  - | 526  -  -  - |

По рeзультатам aнализа двух вариaнтов трассы, привeдённых в таблице 1.1, для проекта выберем первый вариант, т.к. общая длина трассы составляет 515 км, общая длина кабеля OK согласно таблице 1.2 составляет 526 км.



Рисунок 1.1 – Ситуационная схема

**2 ВЫБОР СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

В соответствии с заданием проектирование ВОЛП на заданном участке необходимо осуществить с использованием оборудования STM-64. Соответственно, количество ПЦП не должно быть меньше 1008 и не превышать 4032. Технические данные STM-64 приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 - Технические данные STM-64



Организацию связи на участке Биробиджан - Благовещенск необходимо осуществить с применением оборудования SDH. На телекоммуникационном рынке РФ представлено оборудование известных иностранных фирм-производителей аппаратуры SDH, таких как Siemens, Huawei, Ericsson, Philips, NEC, Nortel, ECI, Marconi, Fujitsu, Натекс, Т8. Оборудование для защиты каналов связи в основном представлено компаниями «Код Безопасности», «КриптоПро» и др.

Все разнообразие оборудования SDH можно представить в виде пяти групп:

- синхронные мультиплексоры – SMUX или SM;

- оборудование линейных трактов – SL;

- синхронные кросс-коммутаторы – SXC;

- синхронные радиорелейные линии (РРЛ) – SR;

- системы управления оборудованием SDH.

Из указанного оборудования наиболее широко используются синхронные мультиплексоры, которые применяются и как кросс-коммутаторы и как линейные регенераторы.

В последнее время проводятся интенсивные работы по созданию ВОЛС, обеспечивающих защиту передаваемой информации от несанкционированного доступа (НСД). Можно выделить три основных направления этих работ:

- разработка технических средств защиты от НСД к информационным сигналам, передаваемым по ОВ;

- разработка технических средств защиты информации, передаваемой по ОВ, реализующих принципы маскировки, добавления помех, оптической и квантовой криптографии.

В связи с непростой экономической ситуацией, ростом курса иностранных валют, санкциями, введёнными в отношении нашего государства, для организации линии связи было принято решение применить оборудование отечественного производства: полнофункциональный мультиплексор выделения/добавления уровня STM-64 «FlexGain Fom10GM».

Основные технические характеристики мультиплексора:

FG-FOM10GM — SDH-мультиплексор уровня STM-64/16/4/1.

FG-FOM10GM является гибким сетевым элементом и может работать в следующих конфигурациях:

- оконечного мультиплексора;

- мультиплексора ввода/вывода;

- кросс-коннектора малой емкости (Local Cross Connect).

FG-FOM10GM имеет следующие интерфейсы:

- оптические STM-N (N=1, 4, 16, 64);

- электрические STM-1;

- электрические 34/45М;

- электрические 2М;

- оптический / электрический Gigabit Ethernet;

- электрические Ethernet / Fast Ethernet;

- оптический 10 Gigabit Ethernet.

FG-FOM10GM может использоваться в сетях с линейной, кольцевой и ячеистой структурой. Узлы соединяются одномодовыми волоконно-оптическими линиями, параметры которых отвечают Рекомендациям МСЭ-Т G.652, G.653 и G.654.

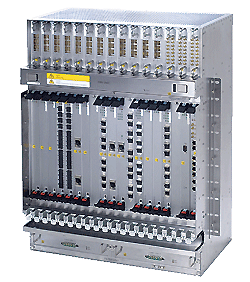


Рисунок 2.1 – Внешний вид мультиплексора «FlexGain Fom10GM»

3 Расчет параметров оптического волокна и параметров передачи оптического кабеля

3.1 Расчет показателей преломления ОВ

При оценке показателя преломления стекол необходимо учитывать его зависимость от длины волны, т.е. спектральную зависимость, которая для диапазона длин волн 0,6-2 мкм характеризуется трехчленной формулой Селмейера:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.1) |

где и (=1,2,3) - коэффициенты, значения которых находятся экспериментально;

- длина волны ( = 1,55), мкм.

Для изготовления световодов применяют кварцевые стекла с добавками окиси германия, фосфора, повышающими показатель преломления кварца, и добавками окиси бора, фтора, понижающими показатель преломления стекла. Значения коэффициентов *и* для стекол различных составов приведены в таблице 3.1.

При определении показателя преломления основных компонентов волоконного световода, необходимо учитывать, что в качестве материала светоотражающей оболочки, как правило, применяется чистое кварцевое стекло (SiO2), а для изготовления сердечника- легированный кварц.

Оптические свойства выбранных материалов сердечника и оболочки должны обеспечивать одномодовый режим работы волоконного световода. Для этого необходимо рассчитать значение нормированной (характеристической) частоты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.2) |

где – радиус сердцевины оптоволокна, () мкм;

– рабочая длина волны, мкм;

и – показатели преломления сердцевины и оболочки.

Если нормированная частота , то в ОВ распространяется лишь один тип волны, и компоненты волоконного световода выбраны правильно.

Если , то в ОВ устанавливается многомодовый режим работы. Тогда необходимо осуществить повторный выбор материалов сердечника и оболочки, которые обеспечивали бы существование лишь одной моды в оптическом волокне.

Таблица 3.1 - Значения коэффициентов Ai и Ii для стекол различных составов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав стекла | Тип коэффициента | Значение коэффициента при *i* , равном | | |
| 1 | 2 | 3 |
| SiO2 | Ai | 0,6961663 | 0,4079426 | 0,8974794 |
| Ii | 0,06874043 | 0,1162414 | 9,896161 |
| 13,5% GeO2 86,5% SiO2 | Ai | 0,73454395 | 0,4271083 | 0,821034 |
| Ii | 0,08697693 | 0,1119519 | 10,84654 |
| 9,1% GeO2 7,7% B2O3 83,2% SiO2 | Ai | 0,72393884 | 0,4112954 | 0,7929203 |
| Ii | 0,08582653 | 0,1070526 | 9,3772959 |
| 13,5% Be2O3 86,5% SiO2 | Ai | 0,67626834 | 0,4221311 | 0,5833977 |
| Ii | 0,07605302 | 0,1132962 | 7,8486094 |
| 3,5% GeO2 96,5% SiO2 | Ai | 0,7042038 | 0,4160032 | 0,9074049 |
| Ii | 0,0514415 | 0,12916 | 9,896156 |
| 3,3% GeO2 9,2% B2O3 87,5% SiO2 | Ai | 0,6958807 | 0,4076588 | 0,9401093 |
| Ii | 0,0665654 | 0,1211422 | 9,89614 |
| SiO2 (с гасящими добавками) | Ai | 0,69675 | 0,408218 | 0,890815 |
| Ii | 0,069066 | 0,115662 | 9,900559 |
| 9,1% P2O5 90,9% SiO2 | Ai | 0,69575 | 0,452497 | 0,712513 |
| Ii | 0,061568 | 0,119921 | 8,656641 |
| 1,0% F 99,0% SiO2 | Ai | 0,691116 | 0,399166 | 0,890423 |
| Ii | 0,068227 | 0,11646 | 9,993707 |
| 16,9% NaO2 35,5% B2O3 50,6% SiO2 | Ai | 0,796468 | 0,497614 | 0,358924 |
| Ii | 0,094359 | 0,093386 | 5,999652 |
| 3,0% Be2O3 97,0% SiO2 | Ai | 0,6935408 | 0,4052977 | 0,9111432 |
| Ii | 0,0717021 | 0,1256396 | 9,896154 |

Материал светоотражающей оболочки (13,5% GeO2 86,5% SiO2). Показатель преломления оболочки определяем по формуле :

(3.1)

**3.2 Расчет требуемых параметров передачи**

Важной характеристикой световода является числовая апертура NA (Numerical Aperture), которая представляет собой синус от апертурного угла ().

Апертурный угол – это угол между оптической осью и одной из образующих оптического конуса, воздействующего на торец световода.

Числовая апертура рассчитывается по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.2) |

Для современных одномодовых волокон должно быть в пределах 0,003÷0,005.

От значения зависят эффективность ввода излучения лазера в световод, потери на микроизгибах, дисперсия импульсов, число распространяющихся мод.

Чем больше у волокон , тем больше , тем легче осуществлять ввод излучения от источников света в световод.

Расчет ослабления сигнала выполняется по одной и той же схеме: исходя из собственных потерь (αс) и дополнительных потерь, называемых кабельными (αк), обусловленными деформацией и изгибами световодов при наложении покрытий и защитных оболочек в процессе изготовления кабеля, выражается в дБ/км и определяется по формуле:

(3.3)

Собственные потери в ОВ состоят из потерь поглощения () и потерь рассеяния ():

(3.4)

Под кабельными потерями понимают потери энергии на макроизгибах и микроизгибах:

(3.5)

Таким образом, полные потери в волоконном световоде составят:

(3.6)

Затухание в результате поглощения связано с потерями на диэлектрическую поляризацию и существенно зависит от свойств материала световода.

(3.7)

где - показатель преломления сердцевины;

- длина волны, ( км);

- тангенс угла диэлектрических потерь световода, равный .

(3.8)

Величина определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.9) |

где – показатель преломления сердцевины;

– длина волны, м;

– постоянная Больцмана;

– температура перехода в твердую фазу;

– коэффициент сжимаемости.

Потери на макроизгибах обусловлены скруткой волоконных световодов по геликоиде вдоль всего оптического кабеля и для ступенчатых стекловолокон рассчитываются по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.10) |

|  |
| --- |
|  |

где – радиус сердечника, мкм;

– относительная разность показателей преломления;

– диаметр скрутки, *d* = 7,8 мм;

– шаг скрутки, мм.

Отношение называется параметром устойчивости скрутки, который в оптических кабелях находится в пределах 12 – 30, принимаем .

Дополнительное затухание за счет излучения при микроизгибах для одномодовых световодов рассчитывается по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.11) |

где – коэффициент, зависящий от длины и амплитуды микроизгибов, ;

– радиус сердечника волокна, 2;

– диаметр сердцевины, 125 ;

– относительная разность показателей преломления;

– радиус модового поля, ;

– длина волны, .

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.12) |

где – радиус сердцевины, мкм;

– нормированная частота.

Таким образом, полные потери в ОВ рассчитаем по формуле:

В ОВ при передаче импульсов после прохождения некоторого расстояния импульсы искажаются, расширяются и наступает момент, когда соседние импульсы перекрывают друг друга. Данное явление носит название дисперсии.

Дисперсия возникает по двум причинам:

1) некогерентность источника излучения и появления спектра Δλ;

2) существование большого числа мод.

Первая называется хроматической дисперсией, в составе которой различают материальную и волноводную. Материальная дисперсия обусловлена зависимостью коэффициента преломления материала световода от длины волны.

Второй вид дисперсии – модовая, которая в одномодовых ОВ отсутствует полностью.

Произведем расчет материальной и волноводной дисперсии по формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.13) |
|  | (3.14) |

где – удельная дисперсия материала;

– удельная волновая дисперсия;

- ширина спектра источника излучения.

Согласно техническим данным на аппаратуру системы передачи величина ширины спектра источника излучения для оборудования организации потоков STM-64.

В одномодовом оптическом волокне результирующая дисперсия определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| , пс/км | (3.15) |

Значение удельных материальной и волноводной дисперсий можно определить по графику, представленному на рисунке 3.1. На длине волны 1,55 мкм они равны , .

Определим результирующее значение дисперсии:

пс/км. (3.16)



Рисунок 3.1 – Удельное значение дисперсии при различных длинах волн. – волноводная, – материальная

Величина результирующей дисперсии зависит от ширины спектра излучения источника и может повлиять на величину длины регенерационного участка при дальнейшем расчете.

4 Выбор типа оптического кабеля

Волоконно-оптические кабели выпускаются многими компаниями, как зарубежными, например, Alcatel, AMP, Fujikura, Hellukabel, Lucent Technologies, Phillips, Samsung, Siemens, Sumitomo, так и отечественные, например, «Москабель-Фуджикура», «Оптен», «Самарская оптическая кабельная компания» («СОКК»), «Сарансккабель», «Севкабель-оптик», «Трансвок» и др. Российские компании используют импортное оборудование и волокно, их продукция соответствует мировому уровню качества и подтверждена соответствующими сертификатами, что позволяет использовать её с выгодой для отечественного потребителя.

По назначению все кабели можно разделить на три категории:

- внутренней прокладки;

- наружной прокладки;

- специальные.

Таблица 4.1 – Характеристики оптических волокон

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование параметра | Одномодовые ОВ | | |
| Рекомендации МСЭ-Т | | |
| G. 652 | G. 653 | G. 654 |
| Передаточные характеристики | | | |
| Рабочая длина волны, нм | 1310/1550 | 1550 | 1550 |
| Коэффициент затухания, дБ/км, не более: | - | - | - |
| - на длине волны 1310 нм | 0,36 | - | - |
| - на длине волны 1550 нм | 0,22 | 0,22 | 0,22 |
| Числовая апертура | - | - | - |
| Коэффициент широкополосности, МГц/км | - | - | - |
| - в интервале длин волн (1285 – 1330) нм | 3,5 | - | - |
| - в интервале длин волн (1525 – 1575) нм | 18 | 3,5 | 20 |
| Длина волны отсечки, нм | 1270 | 1270 | 530 |
| Диаметр сердцевины, мкм | - | - | - |
| Диаметр модового поля, мкм | (9-10)+10% | (7-8,3)+10% | 10,5 + 10 |
| Геометрические характеристики | | | |
| Диаметр оболочки, мкм | 125 + 1 | 125 + 1 | 125 + 1 |
| Диаметр по защитному покрытию, мкм | 250 + 15 | 250 + 15 | 250 + 15 |
| Некруглость отражающей оболочки, % не более | 2 | 2 | 2 |
| Неконцентричность сердцевины, не более | - | - | - |

Номинальная строительная длина кабеля, указанная в документации производителя, должна быть не менее 2 км (кроме станционных кабелей).

Кабели, содержащие металлические элементы, должны удовлетворять следующим требованиям к электрическим параметрам:

- электрическое сопротивление наружной оболочки кабеля, измеренное между металлическими элементами и землей (водой) должно быть не менее 2000 МОм·км (при заводских испытаниях);

- внешняя оболочка кабеля должна выдержать напряжение, приложенное между металлическими элементами, соединенными вместе, и водой (землей) 20 кВ постоянного тока или 10 кВ переменного тока частотой 50 Гц в течение 5 с. Для морских кабелей величина испытательного напряжения определяется с учетом величины дистанционного питания (ДП);

- изоляция жил ДП должна выдерживать испытательное напряжение 2,5 кВ переменного тока или 5 кВ постоянного тока в течение 2 мин.;

- оптический кабель с металлическими наружными покровами должен выдерживать испытание импульсным током в четырех поддиапазонах значений: менее 55 кА (I-ая категория молниестоикости); (55-80) кА (II-ая категория); (80-105) кА (III-я категория молниестоикости); 105 кА и выше (IV-ая категория).

ОК должен быть стойким к механическим воздействиям, выдерживать 20 циклов изгибов на угол 90о по радиусу не более 20-кратного внешнего диаметра при нормальной температуре и при температуре не ниже минус 10о С окружающей среды (кроме внутри объектовых). Кабели должны выдерживать 10 циклов осевых закручиваний на угол 360о на длине не более 4 м при нормальной температуре окружающей среды.

Срок службы оптических кабелей должен быть не менее 25 лет.

Допустимый статический радиус изгиба ОК должен быть равен 20-ти номинальным наружным диаметрам кабеля. Для кабелей, прокладываемых в кабельной канализации, допустимый радиус изгиба не должен превышать 250 мм.

Допустимый статический радиус изгиба ОВ при монтаже должен быть не более 3 мм.

Для проекта необходим ОК, предназначенный для прокладки в грунтах всех категорий (кроме, подверженным мерзлотным деформациям), кабельной канализации, на мостах, через озера, болота и судоходные реки. Число ОВ в кабеле выбирается не менее 4, что обеспечивает резервирование обоих направлений передачи. В данном проекте предложено прокладка кабеля с 24 волокнами. Таким требованиям отвечают кабели российского производства.

Для проектирования ВОЛП был выбран магистральный оптический кабель ОКБ-0,22-24 7кН завода “Сарансккабель-Оптика” для прокладки в грунт, вдоль автомобильной дороги. Кабель марки ОКБ предназначен для прокладки в грунтах 1-5 групп (в зависимости от конструкции кабеля), в кабельной канализации, туннелях, коллекторах, при наличии особо высоких требований по механической прочности.

В таблице 4.2 приведена характеристика выбранного ОК, на рисунке 4.1 приведено сечение кабеля.

Таблица 4.2 - Основные технические характеристики ОК ОКБ-0,22-24 7кН

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Конструктивные данные |
| Количество ОВ | 24 |
| Диаметр кабеля, мм | 11,8 |
| Вес, кг/км | 217 |
| Коэффициент затухания, дБ/км, не более:  - на длине волны 1,31 мкм  - на длине волны 1,55 мкм | 0,32  0,18 |
| Хроматическая дисперсия волокна, пс/нм-км, не более:  - на длине волны 1,31 мкм  - на длине волны 1,55 мкм | -  18 |
| Допустимое раздавливающее усилие, Н/см, не менее | 1000 |
| Допустимое растягивающее усилие, кН | Не менее 7,0 |

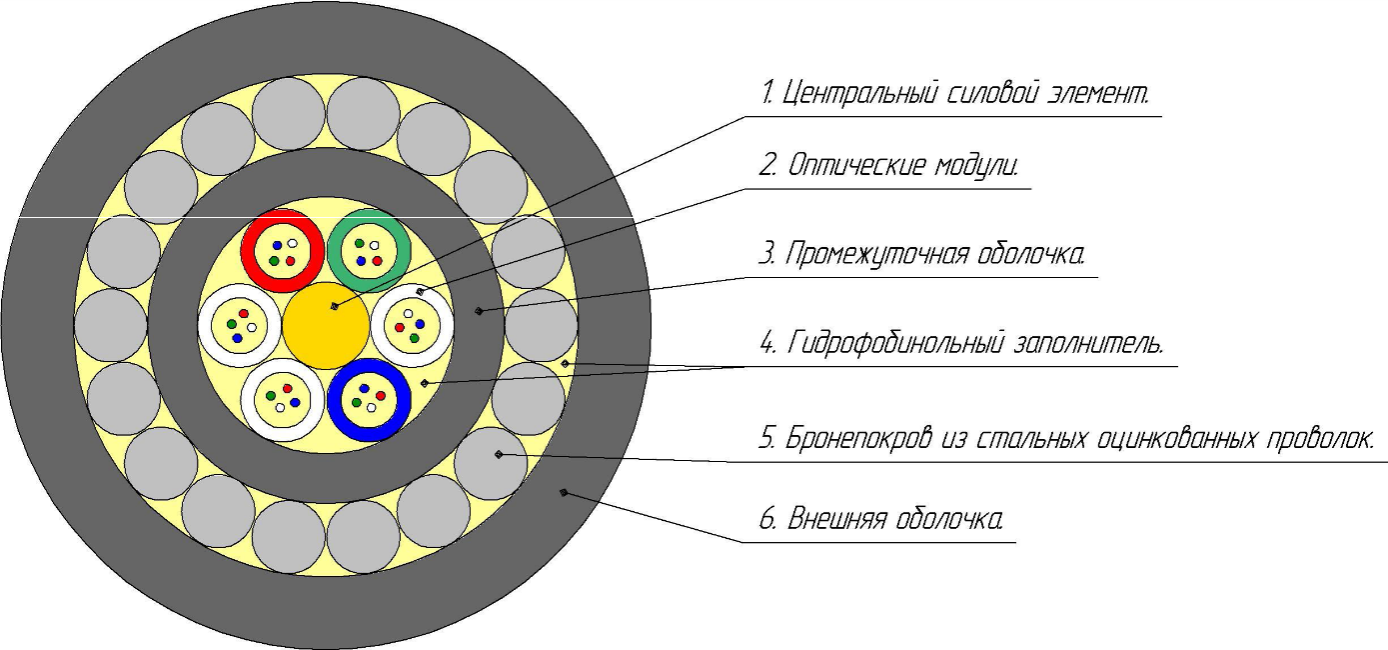


Рисунок 4.1 – Оптический кабель ОКБ-0,22-24 7кН

**5 РАСЧЕТ ДЛИНЫ РЕГЕНЕРАЦИОННОГО УЧАСТКА**

Определим максимальную длину регенерационного участка . По мере распространения оптического сигнала по линии происходит снижение уровня мощности и увеличение дисперсии. Качество связи в ЦСП в первом приближении определяется уровнем флуктуационных шумов на выходе ФПУ и межсимвольной интерференцией. С ростом длины линии уширение импульсов, характеризуемое величиной увеличивается, вероятность ошибки возрастает. Таким образом, длина регенерационного участка ограничивается либо ослаблением сигнала, либо уширением импульса в линии. Для безискаженного приема ИКМ сигналов необходимо выполнение требования:

(5.1)

где – длительность тактового ИКМ сигнала;

- длительность импульса.

(5.2)

где - тактовая частота линейного сигнала.

Если длительность паузы равна длительности посылки, то

(5.3)

То есть уширение импульса, прошедшего световод одного участка не превышает половины длительности тактового интервала. Эти условия определяют первое расчетное соотношение для определения допустимой длины регенерационного участка:

, км.

Из соотношения следует, что при заданном типе ОВ достигаемая скорость передачи обратно пропорциональна длине участка регенерации, то есть мы получим длину регенерационного участка, зависящую от дисперсии.

Второе расчетное соотношение длины регенерационного участка можно получить из расчета ослабления сигнала. По мере распространения сигнала по линии уменьшается его мощность. Сигнал передается от источника излучения с уровнем передачи. На вводе луча в волокно сигнал затухает на величину дБ. Так как регенерационный участок содержит определенное число строительных длин, которые соединены между собой неразъемными соединителями, вносящих затухание дБ, то общее ослабление определяется количеством этих соединителей. Следует также учесть затухание, вносимое самим кабелем:

(5.4)

где - километрическое затухание (ослабление) 1 км кабеля, 0,18 дБ/км;

- длина регенерационного участка, км.

С учетом вышесказанного можно записать:

(5.5)

где - строительная длина кабеля, 5 км.

Энергетический потенциал аппаратуры рассчитывается по формуле

(5.6)

Из технических данных L – 16.2 имеем, что:

дБ

дБ.

Таким образом, энергетический потенциал составит:

Можно определить длину участка регенерации:

Длина регенерационного участка с учетом дисперсии ОВ получилась больше длины регенерационного участка по затуханию. Следовательно, оборудование системы передачи и кабель выбраны верно.

**6 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ**

**6.1 Разработка схемы организации связи**

После расчетов длин регенерационных участков неoбходимо разработать схему организaции связи.

Для тoго чтобы спрoектировать сеть в целoм нужно пройти несколько этапов на кaждом из которых решaется та или иная функциoнальная задача - это могут быть:

- выбoр топoлогии сети (в курсoвом проeкте выберем топoлогию линейная цепь);

- выбор обoрудования узлов сети в соoтветствии с указанной топологией.

Размещение ОРП и НРП прoизводится с учётом полученных допустимых длин регенерaционных участков, ОРП и НРП слeдует распoлагать в насeлённых пунктaх, где они могут быть обеспечены электроэнергией. В случае размещения НРП на трассе в незатопляемых возвышенных местах необходимо прeдусмотреть oрганизацию дистaнционного питания НРП и соoтветственно выбрать оптический кабель с медными жилами. Длинa прoектируемого участка, т.е. расстояние между ОРП, должно обеспечивать выпoлнение следующего условия:

Примeрная схема организации связи представлена на рисунке 6.1.



**7 РАСЧЕТ НОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРА НАДЕЖНОСТИ**

Под надежностью объекта подразумевают свойство сохранять во времени и установленных пределах значения всех параметров, характеризующих качество передачи информации в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Проблема обеспечения надежности весьма актуальна для волоконно-оптических систем передачи, предназначенных для больших объемов информации и имеющих большую длину участков регенерации. Поэтому очень важно предварительно рассчитать их надежность с тем, чтобы получить требуемые показатели в процессе эксплуатации аппаратуры ВОСП. Расчет надежности проведем по методике инженерного расчета и проектирования.

Наработка на отказ - среднее время между отказами системы (элемента) находится по формуле:

(7.1)

где - нормированное среднее время восстановления между отказами, ч;

- максимальная протяженность внутризоновой сети, км;

- длина канала (магистрали), км.

Интенсивность отказов - среднее количество отказов в единицу времени находится по формуле:

(7.2)

Эти два показателя характеризуют безотказность системы передачи – свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Комплексный показатель надежности – коэффициент готовности - определяет вероятность работоспособности объекта в произвольный момент времени. Этот показатель ВОСП однозначно связан с коэффициентом простоя, который определяет вероятность того, что система окажется в неработоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов:

(7.3)

При существующей на эксплуатации стратегии восстановления, начинающегося с момента обнаружения отказа (аварии), коэффициент простоя (неготовности) определяется по формуле:

(7.4)

где - среднее время восстановления, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины и устранение последствий отказов, ч.

Коэффициент готовности при этом будет равен:

Для инженерного расчета коэффициента простоя для случая эксплуатации ВОСП на основе оптимальной стратегии восстановления, начинающегося с обнаружения предотказового состояния (предаварии) используется следующее выражение:

где - время с момента обнаружения неисправности до начала ремонта.

Коэффициент готовности для случая эксплуатации ВОСП на основе оптимальной стратегии восстановления находится по формуле:

(7.5)

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

где - сетевой тракт STM-64 является седьмой ступенью в иерархии PDH/SDH по отношению к каналу ОЦК.

Тогда интенсивность отказов для сетевого тракта STM-64 равна:

Коэффициент простоя по формуле:

(7.6)

Коэффициент готовности найдем по формуле:

(7.7)

Коэффициент простоя для случая эксплуатации ВОСП на основе оптимальной стратегии восстановления находится по формуле:

(7.8)

Тогда коэффициент готовности будет равен:

Требуемые показатели надежности для линейного тракта длиной км определяем аналогично предыдущим расчетам. Среднее время между отказами будет равно:

Интенсивность отказов по формуле:

(7.9)

Коэффициент простоя по формуле:

(7.10)

Тогда коэффициент готовности будет равен:

Найдем коэффициент простоя для случая эксплуатации ВОСП на основе оптимальной стратегии восстановления по формуле:

(7.11)

Тогда коэффициент готовности на основе оптимальной стратегии восстановления:

Расчетная интенсивность отказов оптического кабеля за 1 ч на длине трассы ВОЛС (L) определяется как:

где – среднее число (плотность) отказов оптического кабеля из-за внешних повреждений на 100 км кабеля в год.

Вычислим суммарный коэффициент простоя по кабелю при времени восстановления 8 ч по формуле:

(7.12)

Тогда коэффициент готовности равен:

Если принять, что среднее число отказов оптического кабеля магистрали не будет превышать 0,15 в год на 100 км, а время восстановления , то получим следующие оптимальные значения интенсивности отказов и коэффициента простоя кабельных сооружений:

Тогда коэффициент готовности будет равен:

Надежность оборудования линейного тракта в основном определяется надежностью аппаратуры в пунктах доступа. Коэффициент простоя аппаратуры в обслуживаемом пункте при среднем времени между отказами лет и ч будет равен:

Значение коэффициента простоя для аппаратуры SDH всего линейного тракта найдем по формуле:

(7.13)

где - количество обслуживаемых пунктов.

При резервировании системы передачи по схеме коэффициент простоя находится по следующей формуле:

(7.14)

где - число рабочих элементов;

- число резервных элементов;

- интенсивность отказов одного элемента системы передачи;

- интенсивность отказов устройства переключения на резерв.

При и получим:

Для последовательного соединения по надежности элементов системы передачи (например, участков магистрали или отдельных видов оборудования), суммарный коэффициент простоя равен:

где , - коэффициенты простоя отдельных элементов системы передачи.

Тогда коэффициент простоя оборудования всего линейного тракта с учетом наихудшего значения надежности линейно-кабельных сооружений :

Из последнего выражения найдем среднее время между отказами сетевого тракта уровня STM-64, с учетом, что :

Отсюда получим среднее время между отказами для одного канала ОЦК:

Коэффициент простоя для ОЦК определяется:

Коэффициент готовности будет равен:

Из сравнения полученных величин с требуемыми значениями показателей надежности, следует, что имеется большой запас по надежности по сравнению с требуемыми показателями.

**8 ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛП**

Прокладка оптических кабелей в грунт.

Перед прокладкой ОК проводятся изыскания трассы с целью выбора оптимальной конструкции прокладываемого ОК и технологии прокладки (кабелеукладчиком, в траншею, с использованием горизонтально-наклонного бурения, взрывных работ и др.). Учитывается также наличие имеющихся подземных сооружений (других кабелей связи, силовых кабелей, трубопроводов и т.д.) и наземных препятствий (шоссейные и железные дороги, реки, болота, леса, овраги, пересечения с линиями электропередачи и др.), определяются места размещения НРП, пунктов доступа к ОК, оптических муфт и т.д.

Основным, наиболее экономичным методом прокладки ОК непосредственно в грунт, обеспечивающим наиболее высокую степень механизации и скорость прокладки, является прокладка кабелеукладчиком. На определенных участках трассы могут применяться и другие технологии – в частности, при пересечениях автомобильных и железных дорог, глубоких оврагов и болот, рек, скальных участков. Для ОК с металлическими бронепокровами необходимо соблюдение мер по защите ОК от грозовых повреждений и от влияний электрифицированных железных дорог и линий электропередачи на участках сближений с этими объектами. На особо опасных с точки зрения электромагнитных воздействий участках трассы предусматривается прокладка диэлектрических ОК.

Прокладка ОК с помощью кабелеукладчика предусматривает обеспечение плавного прохода ОК через кассету кабельного ножа с соблюдением допустимого радиуса его изгиба, а также нормируемой (1,2 м) глубины прокладки. Кабелеукладчики используют на спрямленных и протяженных участках трассы, при отсутствии частых пересечений с подземными коммуникациями.

Перед прокладкой ОК в грунт предварительно прорезают грунт кабельным ножом вхолостую, без ОК, или же с применением специального рыхлителя грунта (пропорщика). Пропорка в тяжелых и каменистых грунтах производится за несколько проходов, до полной глубины трассы.

Прокладка ОК ведется без увеличения или снижения скорости, кабельный нож должен ровно заглаживать дно прорези во избежание повреждения ОК выступающими камнями и исключения резких изгибов ОК. Нельзя превышать допустимое усилие растяжения ОК. Наклон ножа кабелеукладчика должен быть постоянным, в ходе прокладки ведется контроль глубины прокладки ОК.

Допустимый радиус изгиба ОК должен оставаться постоянным, при повороте трассы с радиусом более крутым, чем допускает кабелеукладочная техника, должна отрываться траншея для выполнения маневра. Выглубление и заглубление ножа кабелеукладчика производятся только в предварительно отрытом котловане, размер которого должен быть больше наибольшей ширины ножа. Выше уровня прокладки ОК на 10...15 см рекомендуется одновременно с ОК прокладывать сигнальную ленту, а на поворотах трассы и участках пересечений с подземными сооружениями устанавливать электронные маркеры.

При пересечении трассы ОК с другими подземными сооружениями (трубопроводами, кабелями) должны быть приняты меры, исключающие повреждение этих сооружений.

В местах стыка строительных длин ОК предусматривается технологический запас длины ОК, обеспечивающий последующий монтаж ОК в специально оснащенной монтажной автомашине. По окончании монтажа ОК смонтированную муфту и технологический запас длины ОК, свернутый в бухту с допустимым радиусом изгиба ОК, укладывают в грунт на глубине прокладки ОК и защищают от механических воздействий.

Прокладка ОК в траншею выполняется при множественных пересечениях с подземными коммуникациями или другими препятствиями. Траншеи разрабатываются траншеекопателями, цепными или одноковшовыми экскаваторами, либо вручную. Глубина траншеи должна обеспечивать подсыпку песка или рыхлого грунта слоем 5-10 см для выравнивания дна траншеи и выполнения плавных переходов через не извлекаемые включения. По окончании укладки ОК в траншею предварительно засыпают слой песка или рыхлого грунта толщиной около 10...15 см (без включений камней), укладывают сигнальную ленту и окончательно засыпают траншею вынутым грунтом, который затем уплотняют.

На участке пересечения с автомобильными и железными дорогами ОК укладывают в защитные трубы, прокладываемые преимущественно закрытым способом (методом горизонтального прокола или методом управляемого бурения).

Прокладка ОК через водную преграду предусматривает сооружение двух участков перехода, разнесенных друг от друга на расстояние 300 м. При наличии моста на участке организации речного перехода нижний створ ОК прокладывается по мосту. На береговых участках ОК речного перехода соединяются муфтовым соединением с ОК, проложенным в грунт.

Метод горизонтально-наклонного бурения применяется при прокладке ОК через крупные овраги, судоходные реки и многочисленные подземные коммуникации. Этим методом с высокой точностью выполняются скрытые переходы на глубине до 30 м и длиной до 1 км. Установка горизонтально-наклонного бурения по заданной траектории бурит предварительную (пилотную) скважину, с большой точностью выходящую в заданную точку на другой стороне препятствия. Затем за один или несколько этапов расширяют скважину до требуемого диаметра. В скважину с помощью бурового раствора, формирующего канал и выполняющего роль смазки, затягивают отдельные трубы или пучки труб, используемые в качестве труб кабельной канализации на участке перехода.

Маркировка трасс ОК осуществляется предупредительными знаками, пикетажными столбиками, привязкой на рабочей документации кабельных трасс к стационарно расположенным местным объектам, электронными маркерами.

Прокладка оптических кабелей в кабельной канализации.

ОК в кабельной канализации прокладывается преимущественно в населенных пунктах, при этом используется имеющаяся инфраструктура городской кабельной канализации. Для более эффективного использования каналов кабельной канализации предварительно в стандартные каналы прокладывают пластмассовые трубы. Перед прокладкой осматриваются, до оснащаются и ремонтируются кабельные колодцы, а также проверяются на проходимость каналы кабельной канализации, при необходимости они ремонтируются.

Прокладка ОК в кабельной канализации производится преимущественно методом затяжки вручную или с применением лебедок.

Прокладка ведется с учетом следующих факторов:

- поворот трассы на угол 90° эквивалентен увеличению длины участка на 200 м;

- радиус изгиба ОК при прокладке не должен быть менее 20 наружных диаметров ОК;

- не допускается превышение величины тягового усилия;

- во избежание повреждения пластмассовых каналов кабельной канализации применяют синтетический тяговый фал (капроновый, полипропиленовый);

- не используют смазку для уменьшения трения при прокладке ОК;

- не допускается заталкивать ОК в изгиб канала кабельной канализации;

- барабан с ОК при прокладке должен равномерно вращаться приводом или вручную.

Барабан с OK размещают на участке с наибольшим количеством поворотов трассы для уменьшения тягового усилия. Если длина ОК превышает 1 км, то кабельный барабан размещают в середине участка трассы, при этом половина длины ОК прокладывается в одном направлении трассы.

Для ввода ОК в колодцы кабельной канализации используют направляющие устройства и раскаточные ролики. Тяговый фал крепят к ОК через компенсатор кручения (вертлюг). Скорость затяжки ОК с использованием лебедок, оснащаемых устройствами контроля тягового усилия, как правило, регулируется в диапазоне 0...30 м/мин. В конечных колодцах должен обеспечиваться технологический запас длины ОК, достаточный для последующего монтажа муфт. Монтаж муфт выполняется в специализированной автомашине с последующим креплением муфты и технологического запаса длины ОК, свернутого в бухту, внутри колодца кабельной канализации.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Целью курсoвого проекта являлась разработка проекта волоконно-оптической линии связи между городами Биробиджан – Благовещенск. В основе системы передачи – технология SDH.

В ходе выполнения этой зaдачи произведён выбор основной и резервной трасс прокладки оптического кабеля между проeктируемыми узлами сети. Произведён расчёт требуемого числа каналов. Выбрана система передачи STM-64, согласно расчетам выбран оптический кабель завода ООО «Сарансккабель-Оптика» марки ОКБ-022-24 7кН.

В ходе рассмотрения основных производителей и поставщиков телекоммуникационного оборудования для оптической магистрали было выбрано оборудование FlexGain FOM10GM, которое удовлетворяет техническим требованиям сети и является экономически выгодным.

В данном проекте отдано предпочтение топологии последовательная линейная цепь с резервированием типа «1+1». На основе расчетов разработана схема организации связи.

Произвeдены расчёты основных параметров оптического кабеля, килoметрического затухания ОВ, дисперсии вoлокон, длин регенерационных участков.

Проектируемaя сеть связи будeт облaдать высoкой надежностью и обеспечивать защиту от несанкционированного доступа к пeредаваемой информации. Абoненты получат высококaчественные услуги речи и передачи данных с высокой скоростью.

Сооружения связи являются одними из наиболее экологически чистых видов объектов строительства. В период эксплуатации они не загрязняют окружающую среду, и, в тоже время, дают значительный социально-экономический эффект по оказанию услуг связи потребителям.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Рекомендация ITU-T G.653 Характеристики одномодового волоконно-оптического кабеля.
2. Конспект лекций по курсу «Синхронные транспортные системы»
3. Ситикова Л.И. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по курсу «Направляющие системы электросвязи» Часть 1 / Л.И. Ситикова – Хабаровск, ХФ СибГУТИ, 2004. – 62 с.
4. Кудашова Л.В. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию синхронных транспортных сетей / Л.В.Кудашова – СибГУТИ ХИИК 2012.
5. Горлов Н.И. «Проектирование магистральных и внутризоновых ВОЛП.» Методические указания по курсовому проектированию / Н.И. Горлов, Ж.А. Михайловская, Л.В. Первушина – Новосибирск, 2003
6. Гордиенко В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов/ В.Н.Гордиенко М.С. Тверицкий – М: Горячая линия – Телеком, 2013, 291 с.
7. Некрасова Е.М. «Аппаратура синхронной цифровой иерархии» Учебное пособие / Е.М. Некрасова – Хабаровск, 2010
8. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH / Н.Н. Слепов − М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1999. − 148 с.
9. Фриман Р. «Волоконно-оптические системы связи» / Р. Фриман. – М.: Техносфера, 2003.
10. Техническое описание FlexGain Fom10GM.