

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 1 » февраля 2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

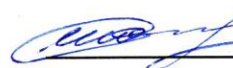
**Исследование влияния внешних факторов на характеристики передачи
сигнала по оптическому волокну**

по основной образовательной программе подготовки специалиста
по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Уванчикова Дениса Юрьевича

Руководитель ВКР

Доцент ККЭиФ

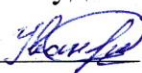


Ю.В. Маслова

« 1 » февраля 2021 г.

Автор работы

студент группы № 759



Д.Ю. Уванчиков

Томск-2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

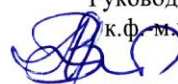
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

к.ф.м.н., доцент



В.А. Мешеряков

« 21 » сентября 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на подготовку ВКР специалиста

студенту Уванчикову Денису Юрьевичу группы № 758

1. Тема ВКР: Исследование влияния внешних факторов на характеристики передачи сигнала по оптическому волокну.

2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:

а) на кафедре 26.01.2021,

б) в ГЭК 04.02.2021.

3. Краткое содержание работы:

Работа направлена на изучение внешних факторов, воздействующих на оптоволоконные линии передачи, их классификацию и анализ их влияния на передаточные характеристики волоконного тракта.

4. Календарный график выполнения ВКР:

а) изучение литературы	22.12.2020 – 28.12.2020
б) классификация внешних факторов, влияющих на передаточные параметры оптического волокна	24.12.2020 – 28.12.2020
в) изготовление лабораторного стенда и документации, исследование зависимости передаточных характеристик ОВ от влияния внешних факторов	24.12.2020 – 16.01.2021
г) написание ВКР и сдача в ГЭК,	12.01.2021 – 04.02.2021
д) размещение текста ВКР в электронной библиотеке ТГУ	24.01.2021 – 06.02.2021

5. Дата выдачи задания « 18 » сентября 2020 г.

Руководитель ВКР –
канд. пед. наук,
доцент ККЭиФ

Задание принял к исполнению



Маслова Ю.В.



Уванчиков Д.Ю.

РЕФЕРАТ

Отчет о дипломной работе 55 – с., 23 – рис., 13 – табл., 25 – источников.

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО, ИЗГИБ, МИКРОИЗНИБ, МАКРОИЗГИБ,
МЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, МОЩНОСТЬ, СИГНАЛ, ЗАТУХАНИЕ

Целью работы является исследование влияния внешних факторов на характеристики передачи сигнала по оптическому волокну.

В ходе работы:

- Изучили литературу по выявлению факторов, влияющих на качество передачи сигнала по ОВ.

В результате работы:

- Разработали и составили классификацию факторов, влияющих на качество передачи сигнала по ОВ.
- Экспериментально исследовали влияния макроизгибов на уровень мощности сигнала в ОВ.
- Провели анализа способов минимизации воздействия внешних факторов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Классификация и описание внешних факторов, влияющих на параметры оптического волокна	6
1.1 Классификация внешних факторов.....	7
1.2 Анализ внешних факторов, влияющих на передаточные параметры оптического волокна.....	8
1.2.1 Влияние механических воздействий.....	8
1.2.2 Атмосферно-климатические воздействия	15
1.2.3 Электромагнитные влияния.....	20
1.2.3 Ионизирующее излучение (радиация).....	25
2. Анализ минимизации потерь в оптическом волокне	29
2.1 Способы минимизации механических воздействий.....	29
2.1.1 Стандарты	29
2.1.2 Этап производства	31
2.1.3 Способы защиты оптических волокон и кабелей.....	32
2.2 Средства защиты оптических волокон от температурных влияний.....	35
2.2.1 Стандарты	35
2.2.2 Типы оптических волокон и кабелей.....	35
3.2 Защита от подключений	43
4. Анализ общих технических требований.....	44
4.1 Требования к механическим параметрам ОК	44
4.2 Требования к электрическим параметрам ОК	46
4.3 Требования к стойкости ОК внешним климатическим воздействиям	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
ЛИТЕРАТУРА	53

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня при интенсивном развитии сетей связи предпочтительнее такие линии связи, которые могут передавать информацию на большие расстояния без потери качества сигнала, имеют широкую полосу пропускания, низкое затухание, низкий уровень шума и высокую устойчивость к помехам.

Такие параметры имеют цифровые волоконно-оптические системы. Но специфика волоконно-оптических линий связи заключается не только в распространении информационного сигнала, но и в построении самого оптического волокна. Оптические волокна подвержены различным типам внешних воздействий, таких как влажность, температура, излучение, внешние электромагнитные воздействия и механические воздействия.

Воздействие внешних факторов приводят к различным видам деформации поверхности волокон, что приводит к нарушению передачи сигнала.

Поэтому вопрос исследования влияния внешних факторов на характеристики передачи сигнала по оптическому волокну является актуальным.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- 1) Проведение литературного обзора по выявлению факторов, влияющих на качество передачи сигнала по ОВ.
- 2) Разработка и составление классификации факторов, влияющих на качество передачи сигнала по ОВ.
- 3) Экспериментальное исследование влияния макроизгибов на уровень мощности сигнала в ОВ.
- 4) Проведение анализа способов минимизации воздействия внешних факторов.
- 5) Оформление работы.

1. Классификация и описание внешних факторов, влияющих на параметры оптического волокна

Одним из параметров оптоволокна является затухание. Затухание - это потеря силы сигнала при прохождении света по волокну. Это отношение выходной мощности сигнала передатчика к входной мощности сигнала приемника, выраженное в децибелах (дБ). Другими словами, чем меньше затухание, тем сильнее сигнал на входе приемника, а значит, лучше связь.

Для расчета коэффициента затухания α оптического волокна используется формула:

$$\alpha = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (1.1)$$

где, P_1 -мощность сигнала на выходе оптического волокна, P_2 -мощность на входе оптического волокна.

Затухание в оптическом кабеле (ОК) зависит от длины волны света и не зависит от частоты модуляции внутри полосы пропускания.

Затухания в оптическом кабеле возникают вследствие внутренних и внешних факторов. К внутренним факторам относятся потери самого волокна, потери, возникающие при изготовлении волокна и френелевское отражение.

Потери самого волокна. Световые потери в волокне, которые не могут быть устранены при его изготовлении, обусловлены наличием примесей в стекле и поглощением света на молекулярном уровне. Потеря света из-за изменений оптической плотности, состава и молекулярной структуры называются рэлеевским рассеянием. Лучи света при встрече с такими изменениями и примесями рассеиваются по многим направлениям и теряются.

Потери, возникающие при изготовлении волокна, зависят, от отклонений в производственном процессе, которые становятся причиной возникновения потерь световых лучей. Например, изменение диаметра сердцевины на 0,1% приводит к потерям до 10 дБ на километр. Поэтому для минимизации потерь должны поддерживаться жёсткие допуски на протяжении всего процесса изготовления оптоволокна.

Френелевское отражение возникает на любой границе среды, где изменяется показатель преломления, в результате чего часть падающего светового луча отражается обратно в первую среду. Ярким примером данного явления является торец волокна. Свет, движущийся по воздуху к сердцевине волокна, преломляется внутрь него. Однако часть света, как правило, около 4 %, переотражается обратно в воздух.

К внешним факторам относятся механические, атмосферно-климатические, электромагнитные, ионизирующие воздействия. Составим классификацию внешних факторов.

1.1 Классификация внешних факторов

На рисунке 1.1 приведена классификация внешних факторов, оказывающих значительное влияние на передаточные параметры оптического волокна.

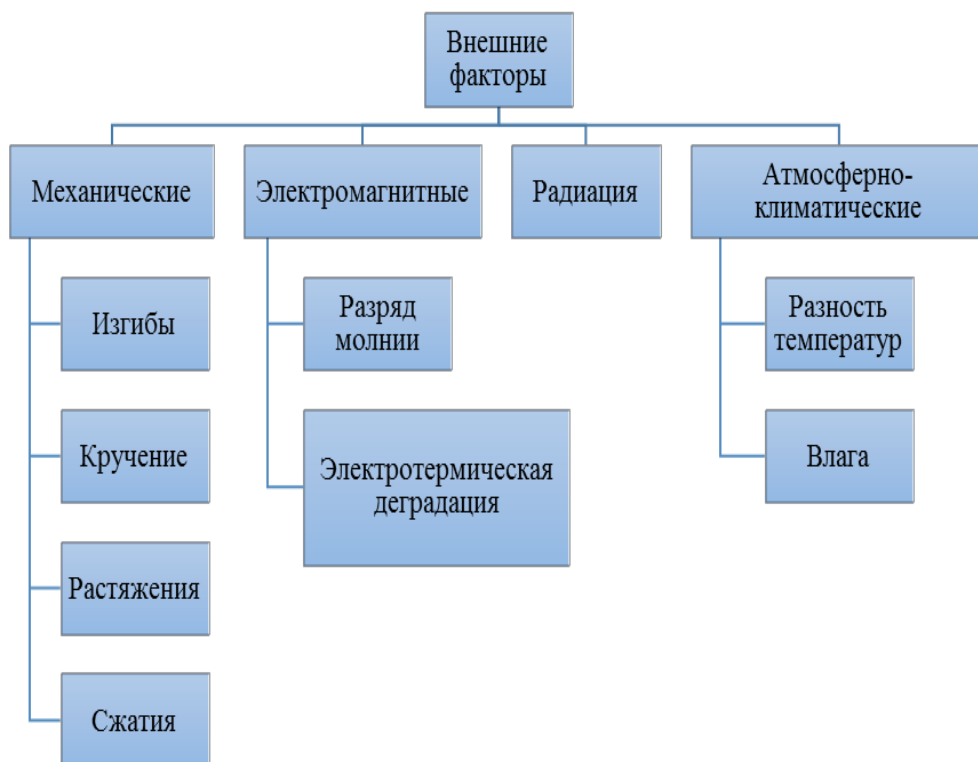


Рисунок 1.1 – Классификация внешних факторов

Рассмотрим более подробно влияния данных факторов на передаточные параметры оптического волокна.

1.2 Анализ внешних факторов, влияющих на передаточные параметры оптического волокна

1.2.1 Влияние механических воздействий

Среди всех возможных воздействий на оптическое волокно, механические воздействия требуют особого внимания, так как данные воздействия приводят к увеличению коэффициента затухания в оптическом волокне.

Механические воздействия - это результат работы сил во время эксплуатации, следствием которого является разрыв или возникновение в оптическом волокне трещин.

Изгибы, скручивание, растяжение, а также давящая нагрузка — это проявление механического воздействия, которые оказывают механические повреждения оптических волокон (рис. 1.2).

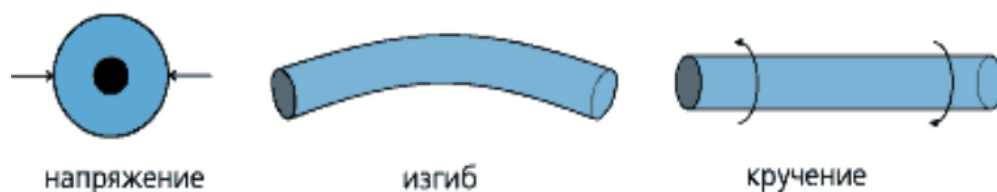


Рисунок 1.2 – Механические воздействия: изгибы, кручение, растяжение и сжатие [1]

Изгибы, возникающие в оптическом волокне можно разделить на микроизгибы и макроизгибы, которые представлены на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Микро и макро - изгибы оптического волокна [2]

Микроизгибы вызваны несовершенством волокна. Они вызывают увеличение потерь в кабеле. Эти потери могут быть очень большими и в некоторых случаях превышают 100 дБ/км. Основная причина связана с искривлениями оси, которые неизбежно происходят в процессе производства кабеля, когда волокно сдавливается недостаточно гладкими внешними покрытиями.

В приведенном ниже уравнении показаны несколько проектных решений, которые позволяют повысить устойчивость оптического волокна к микроизгибам.

$$\gamma = N(h^2) \frac{a^4}{b^6 \Delta^3} \left(\frac{E}{E_r} \right) \quad (1.2)$$

где γ – это увеличение коэффициента затухания, вызванное микроизгибами, N – это число неровностей средней высоты (h) на единицу длины, b – общий диаметр волокна, a – радиус сердцевин, Δ – разность коэффициента преломления волокна, а E_f и E – модули упругости волокна и материала, окружающего это волокно, т. е. оболочки.

Как видно из уравнения (1.2), радиус сердцевин и разность коэффициента преломления влияют на устойчивость волокна к микроизгибам. На рисунке 1.4 представлены результаты исследования устойчивости волокна к микроизгибам.

На данном рисунке 1.4. синие квадраты - это результаты испытаний на микроизгибы, проводимых на коммерческом одномодовом волокне, которое соответствует требованиям рекомендации ITU-T Recommendation G.652 Таблица D.

Красными ромбами показаны результаты тестирования волокна, соответствующего рекомендации ITU-T Recommendation G.657. A1. На оси абсцисс отмечены “MAC-значения”, соотношение диаметра модового пятна или поля и пороговой длины волны.

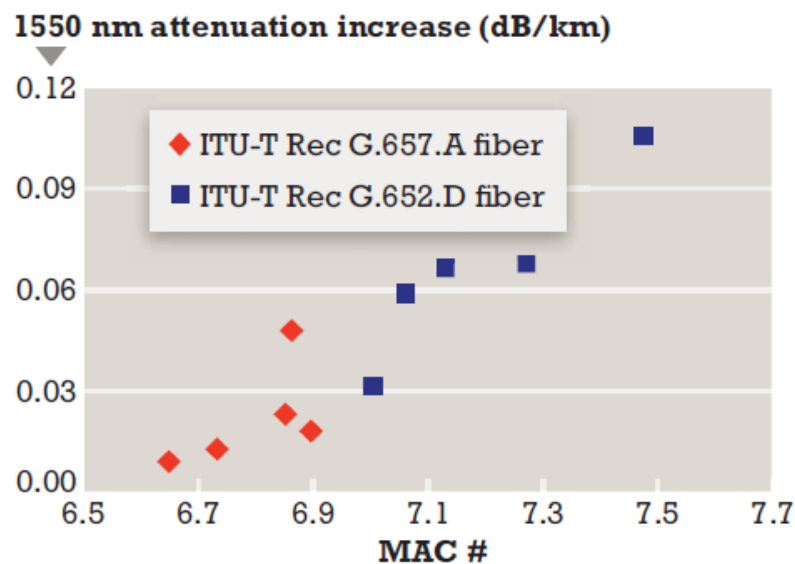


Рисунок 1.4 - Зависимость потери мощности от соотношения диаметра модового пятна и пороговой длины волны, выраженное в общепринятых единицы измерения MAC [3]

Анализируя данные из диаграммы, можно сделать вывод, что профили показателей преломления двух волокон очень похожи; волокно, которое соответствует рекомендации Rec. G. 657. A1, имеет меньший радиус сердцевины и более высокую разность показателей преломления, и, соответственно, меньшее значение MAC. Как следует из уравнения (1.2), волокно, которое соответствует рекомендации Rec. G. 657. A1, имеет более высокую устойчивость к микроизгибам.

Существуют практические ограничения на повышение устойчивости к микроизгибанию с помощью изменения радиуса сердцевины и профиля показателей преломления. Они определяют номинальные оптические свойства волокна, и отраслевые стандарты делают их обязательными для данного типа волокна или кабеля. Например, в рекомендации ITU-T Recommendation G.652 определяются такие значения рассеивания, диаметра модового поля или пятна, а также пороговой длины волны, что возможность одновременного изменения значений a и Δ в уравнении (1.2) и следования стандарту данного продукта является ограниченной [3].

Макроизгиб – это изгиб оптического волокна сверх допустимого радиуса (для стандартного одномодового волокна порядка 50 мм), при котором нарушается угол падения света на границу раздела сердцевина-оболочка. В результате, большая часть распространяемого по волокну света не только выходит за пределы сердцевины, но и вовсе выходит из волокна. На длине волны 850 нм – 1650 нм, человек не способен зафиксировать визуально макроизгиб на работающей сети, так как данная волна не воспринимается глазом человека. Но стоит подать в волокно сигнал в видимом диапазоне (чаще всего 650 нм или 635 нм – красный свет), то в месте макроизгиба мы будем наблюдать красное пятно, которое свидетельствует о выходе части излучения за пределы оптического волокна. Потери на макроизгибе могут достигать 5-ти дБ и более, причем они разные на разных длинах волн. Чем на большей длине волны идет передача, тем больше потери на макроизгибе [2].

Доминирующими внешними параметрами, чувствительными к наличию макроизгибов, являются длина волны и радиус изгиба, как показано на рисунке 1.5, на котором представлена зависимость затухания стандартного одномодового волокна, соответствующего рекомендации G.652 ITU-T, от длины волны и радиуса изгиба.

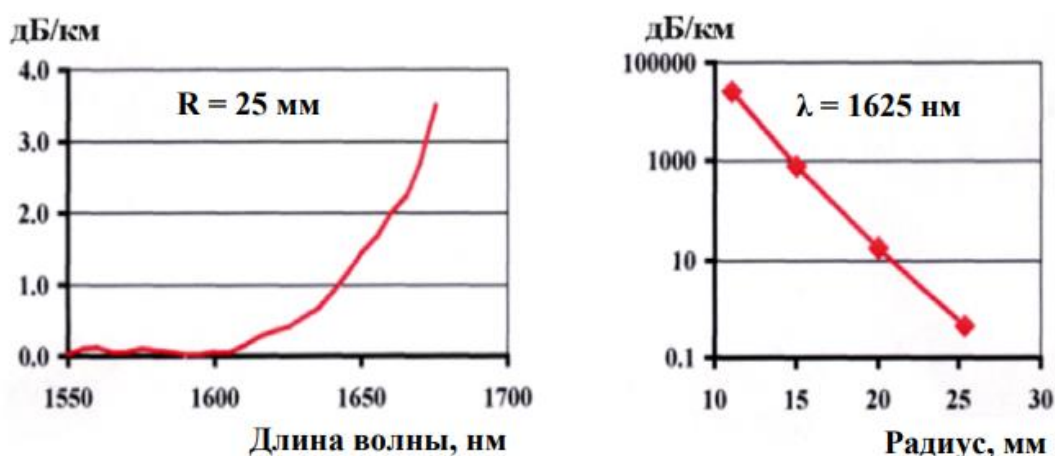


Рисунок 1.5 Зависимость потерь, связанных с макроизгибом, от длины волны и радиуса изгиба стандартного одномодового волокна, соответствующего требованиям G.652 [4]

Из рисунка видно, что при больших длинах волн, когда оптический сигнал в меньшей степени зависит от сердечника одномодового волокна, потери на

изгиб значительно возрастают. Они еще больше увеличиваются, если радиус изгиба уменьшается, как это показано на рисунке 1.5 справа. Однако до настоящего времени для стандартных конструкций кабелей вряд ли допустимы радиусы изгиба менее 50 мм, а минимальный радиус изгиба при хранении в системах расположения волокна, например в накопительных кассетах для сращивания, составляет 30 мм. Кроме того, эксплуатация кабеля в L-диапазоне волн (575–1625 нм) все еще недостаточно распространена, причем приемосдаточные испытания кабельной трассы на длине 1550 нм обычно выполняются с использованием оптического рефлектометра.

При создании оптимальной конструкции оптического волокна производители оптимизируют собственные параметры волокна, определяющие стойкость к макроизгибам, которые оказывают влияние и на другие параметры волокна, такие как дисперсия, собственные потери волокна, а также на производительность при изготовлении волокна. Кроме того, некоторые другие параметры, такие как точный профиль показателя преломления сердечника волокна и поперечное распределение механической нагрузки, также влияют на стойкость к изгибам, хотя и в меньшей степени, чем значение коэффициента МАС. Примером волокна, отвечающего дополнительным требованиям по стойкости к изгибам, помимо остальных требований международных стандартов, является одномодовое волокно типа Bend Bright G.652 фирмы Draka Comteg с гарантированной характеристикой 0,05 дБ на длине волны 1625 нм для соответствующей развертки волокна. Улучшение характеристики, отражающей стойкость волокна к макроизгибам, обеспечивает потребителю прямую добавленную стоимость, так как волокно менее чувствительно к случайным изгибам и вследствие этого снижаются затраты на монтаж и прокладку кабеля. Достижимое при этом общее улучшение эксплуатационных характеристик проиллюстрировано на рисунке 1.6, где представлены потери в одномодовом волокне Bend Bright (нижняя кривая) в сравнении со стандартным одномодовым волокном по стандарту G.652 с высоким значением коэффициента МАС. Эффект очевиден.

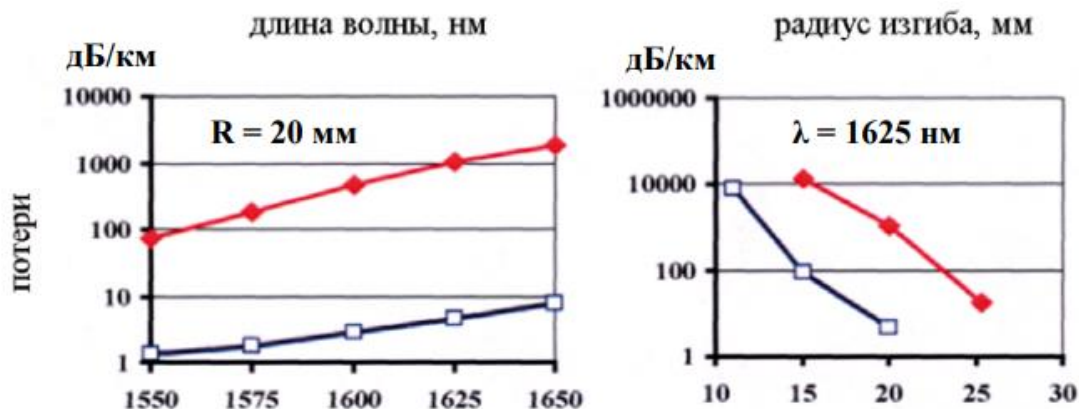


Рисунок 1.6 - Зависимость потерь, связанных с макроизгибом, от длины волны и радиуса изгиба, одномодового волокна Bend Bright (нижняя кривая) в сравнении со стандартным одномодовым волокном по стандарту G.652 [4].

Следует отметить разницу в шкале на рисунке 1.5, где представлено волокно со стандартным значением коэффициента МАС, и на рисунке 1.6, где радиус изгиба составляет 20 мм (левый график). При 25-миллиметровом радиусе изгиба измерение потерь вследствие изгиба короткой длины волокна было недостаточно точным из-за низкого уровня потерь [4].

Наряду с изгибом необходимо ограничивать растяжение и сжатие световодов в модулях с тем, чтобы в заданных диапазонах нагрузок на растяжение и температурных диапазонах в волоконно-оптическом кабеле не возникали недопустимые изменения передаточных характеристик и опасность повреждения световодов. Световоды в модулях со свободной укладкой волокон могут свободно передвигаться внутри оболочки. В ненагруженном состоянии они располагаются в центре модуля, и их зазор DR (по отношению к защитной оболочке модуля) определяется с учетом внутреннего диаметра d_i оболочки модуля и наружного диаметра d_f световода (см. рис.1.7). В случае модуля со свободной укладкой, в котором находятся несколько световодов, за наружный диаметр d_f следует принять диаметр воображаемой окружности, охватывающей световоды как можно плотнее.

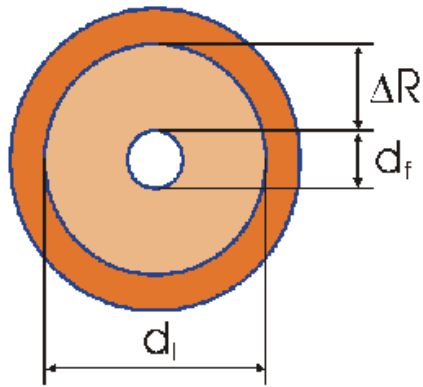


Рисунок 1.7 - Размеры и положение волокна в модуле в ненагруженном состоянии [5].

Относительное изменение длины DL/L волоконно-оптического кабеля, т.е. допустимое удлинение e_K или сжатие e_{TK} (сжатие, обусловленное температурой) кабеля с повивной скруткой радиусом R и шагом S равно:

$$\square = -1 + \sqrt{1 + \frac{4\square^2\square^2}{\square^2} \left(2\frac{\Delta\square}{\square} \pm \frac{\Delta\square^2}{\square^2} \right)} \quad (1.3)$$

где знак «+» используется для сжатия кабеля e_{TK} , а знак «-» - для удлинения кабеля e_K . Из этого уравнения следует, что уменьшение шага скрутки S вызовет существенное увеличение допустимого удлинения или сжатия кабеля. Но следует учитывать допустимый радиус кривизны световода, который различен для одномодовых и многомодовых волокон.

На рисунке 1.8 показаны различные состояния световода в полый оболочке. Без какого-либо напряжения длина световода и оболочки одинаковая (а). При растяжении за счет растягивающего напряжения волоконно-оптического кабеля световод смещается в направлении внутренней стороны полый оболочки (б), при этом сначала ее не касается и не подвергается деформациям. Удлинение кабеля передается на световод только при величине, превышающей примерно 0,5 %, в зависимости от размеров полый оболочки. Реакцией световода будет повышение затухания.

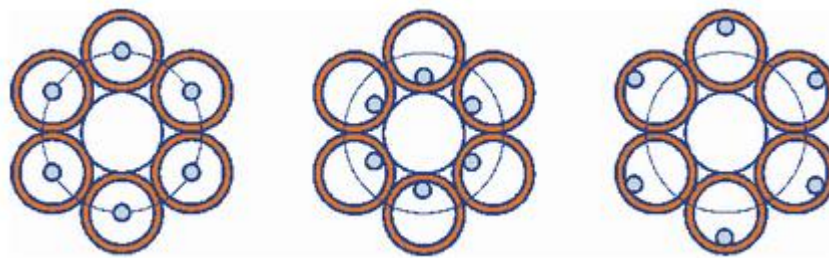


Рисунок 1.8 - Различное положение волокон в модуле [5]

При низких температурах имеет место обратное явление. Полимер, из которого сделана оболочка модуля, сжимается. Поэтому, при охлаждении кабеля происходит его сжатие, и световод движется к внешней стороне полый оболочки (в) [5].

1.2.2 Атмосферно-климатические воздействия

Температура окружающей среды оказывает воздействие как на характеристики передачи сигнала в оптическом волокне, так и на составные части кабеля.

Исследования длительных воздействий повышенных и низких температур на пропускание световодов с различными покрытиями стимулируются как необходимостью дальнейшего совершенствования технологии изготовления оптических кабелей, так и для оценки работоспособности ОК в реальных условиях. Необходимо знать зависимость передаточных характеристик (числовая апертура и коэффициент затухания) от температуры.

Под воздействием температуры в оптическом волокне возникают термические напряжения, ввиду разных коэффициентов термического расширения оптического волокна и полимерной оболочки.

При эксплуатации в условиях низких температур, из-за разности коэффициентов термического расширения различных частей кабеля наблюдается продольное сжатие оптического волокна [6].

Выдавливание волокна из оболочки в стыковочных муфтах происходит при разнице в коэффициентах расширения, этот процесс обусловлен механотермической деструкцией полимера.

В [7] представлены исследования влияния температурных колебаний на оптические волокна в диапазоне температур: от -60 до $+30^{\circ}\text{C}$; исследованы причины увеличения потерь при уменьшении температуры. При проведении исследований использовалось оптическое волокно с диаметром сердцевины 200 мкм, толщиной оболочки 60 мкм; длина волны гелий-неонового лазера составляла $0,63$ мкм; длина отрезка °световода 100 м. Сердцевина изготовлена из плавленого кварца, оболочка – из кремний органического компаунда. Исследуемые образцы волокон помещались в камеру с регулируемой температурой так, что начальный и конечный отрезки (1 м) находились при комнатной температуре.

На рисунке 1.9 показана зависимость числовой апертуры от температуры [14].

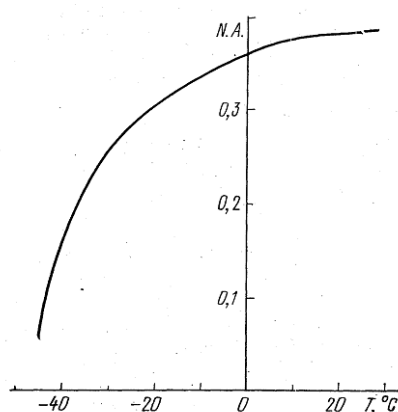


Рисунок 1.9 – Зависимость числовой апертуры от температуры [7]

На рисунке 1.10 показана зависимость величины показателя преломления оболочки оптического волокна от температуры окружающей среды [7].

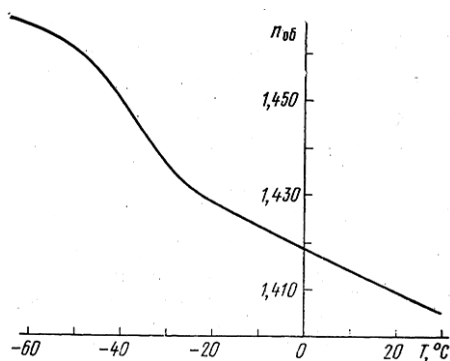


Рисунок 1.10 – Зависимость показателя преломления оболочки от температуры [7]

Согласно рисунку 1.10 показатель преломления оболочки возрастает при

понижении температуры, наблюдается резкое возрастание показателя преломления оболочки, что приводит к уменьшению перепада между показателями преломления сердцевины и оболочки, а значит, числовая апертура оптического волокна уменьшается. При температуре -45°C оптическое волокно теряет свои световедущие свойства, так как показатели преломления материалов становятся очень близкими по значению [7].^o

В [7] представлен эксперимент: измерение величины дополнительных потерь от понижения температуры окружающей среды. При проведении эксперимента измерения проводились на волокна длиной 10 и 100 м. За нулевой уровень дополнительных потерь приняты потери при температуре $+20^{\circ}\text{C}$.^o

Измерения проводились на длине волны 0,85 мкм. Результаты экспериментов представлены на рисунке 1.11 [7].

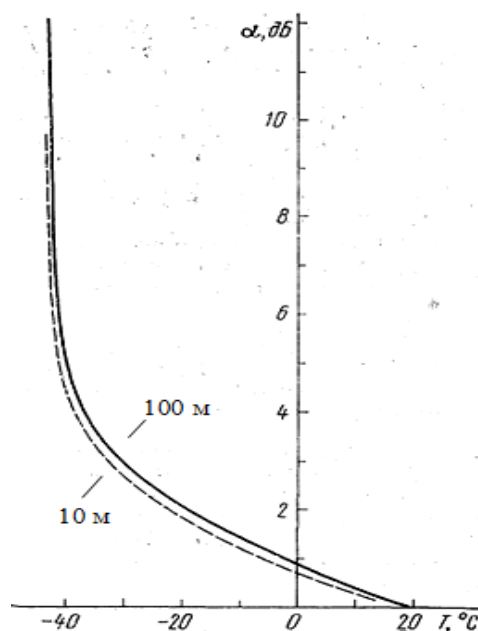


Рисунок 1.11 – Зависимость дополнительных потерь от температуры [8]

Согласно графикам дополнительные потери слабо зависят от величины исследуемого отрезка, следовательно, увеличение потерь при понижении температуры связано в основном с уменьшением входной апертуры волокна. Потери резко возрастают при температуре близкой к минус 45°C [7].^o

Оптические кабели, подвешенные на опорах подвержены воздействию прямых солнечных лучей, а значит нагреву. В [8] представлены эксперименты, направленные на исследование зависимости величины затухания оптических волокон, сварных соединений от высоких температур. При проведении

экспериментов стенд включает в себя следующие элементы: оптический кабель длиной 153 метра с 8-ю волокнами, оптический кросс на 8 волокон, оптическая кассета (в ней произведена сварка оптических волокон), искусственная линия длиной 850 метров, соленоид из медной шины (сечение 10,88 мм², 426 витков), три последовательно соединённые аккумуляторные батареи (ёмкость 205 А/ч, напряжение 4 В каждая), тигельная печь, рефлектометр FOD 7202.

Тигельная печь используется для температурного воздействия, в неё помещается оптическая кассета, измерения производятся при температуре равной 70С. Результаты исследований приведены в таблице 1.1[8].°

Таблица 1.1 – Влияние температуры на затухание

Номер оптического волокна	Затухание при воздействии температуры	
	На сварке, дБ	Километр, дБ/км
1	0,07	0,12
2	0,12	0,14
3	0,03	0,06
4	0,18	0,28
5	0,13	0,13
6	0,11	0,15
7	0,11	0,20
8	0,04	0,19

Исследования проводились на длине волны 1550 нм. Данные в таблице подтверждают негативное влияние высоких температур на затухание в оптическом волокне.

Несколько типов конструкций оптического кабеля изучены в [9] при понижении температуры окружающей среды. На рисунке 1.12 представлена зависимость затухания от температуры [9] для трёх типов оптических волокон.

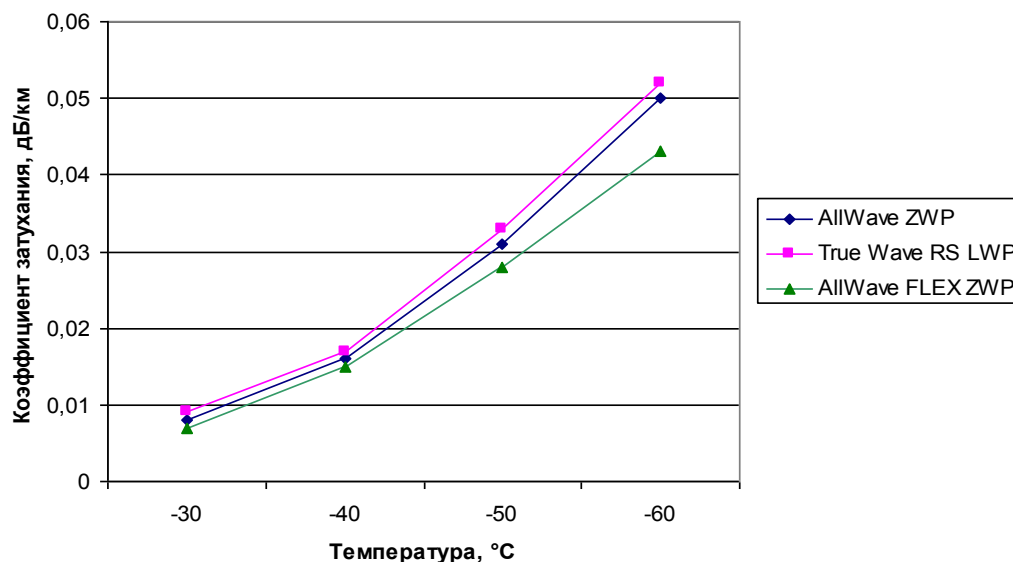


Рисунок 1.12 – Зависимость коэффициента затухания от температуры [9]

Для зависимостей на рисунке 1.12 избыточная длина оптического волокна в кабеле принята равной от 0 до 0,1%.

Оптическое волокно марки AllWaveZWP одномодовое оптическое волокно, соответствующее рекомендации G.652 C/D. Волокно TrueWave RSLWP соответствует рекомендации G.655. Оптическое волокно марки AllWave FLEXZWP – одномодовое оптическое волокно соответствующее рекомендации G.652 C/D, G.657 A.

При избыточной длине оптического волокна в кабеле от 0,3 до 0,4% зависимость коэффициента затухания от температуры изменяется и становится такой, как показано на рисунке 1.13 [9].

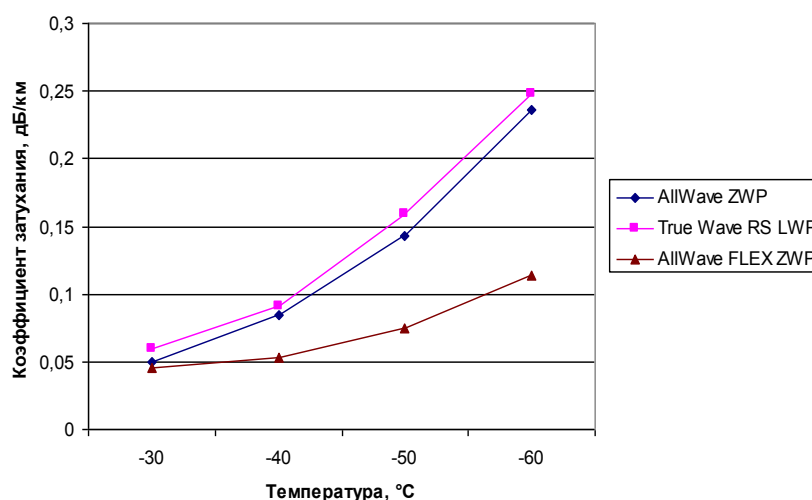


Рисунок 1.13 – Зависимость коэффициента затухания от температуры для трёх типов волокон [9]

Из представленных графиков видно, что после 4-х часовой выдержки

оптического кабеля при пониженной температуре, наблюдается затухание 0,05 дБ/км и более. При этом допустимая пониженная рабочая температура оптического кабеля зависит от избыточной длины оптического волокна, типа применяемого оптического волокна. Лучшие показатели имеет волокно марки AllWaveFLEXZWP.

1.2.3 Электромагнитные влияния

Первоначально предполагалось, что ОК не подвержены воздействию сильных внешних электромагнитных полей, возникающих при ударах молнии или вблизи высоковольтных линий электропередачи. Однако были зафиксированы случаи повреждения ОК, опровергающие эти предположения как в отношении кабелей с металлическими элементами в конструкции (с металлическими жилами дистанционного питания либо с металлическим экраном или оболочкой), так и в отношении кабелей без металла в конструкции (чисто диэлектрических). С развитием оптической транспортной инфраструктуры связи в нашей стране этот вопрос становится актуальным.

В основном на оптические кабели, проложенные под землей, влияют молнии, а электротермическая деградация оказывает свое влияние на подвешенные на опорах линий электропередач и железных дорог.

При подвеске оптического кабеля на опорах контактной сети возникает опасность возникновения сухого дугового разряда, что может привести к повреждению кабеля.

Молнии воздействуют на оптический кабель посредством его металлических составляющих, другими словами под воздействием молнии в металлических составляющих кабеля возникает наведённое напряжение. Опасные напряжения приводят к повреждению оптических волокон кабеля [10].

Оптические кабели имеют в своём составе металлические элементы. Согласно [10] наличие опасных напряжений на таких элементах приводит к повреждению оптических волокон. В [10] исследуются напряжения, наводимые на металлических элементах кабеля. Предполагается, что оболочка кабеля

однородна, кабель имеет бесконечную длину, оболочка пробивается только на части длины и имеет заземление в этих точках. Исследования проводятся для кабеля, проложенного под землёй. Исследование направлено на нахождение диапазонов напряжений, которые могут ожидать при попадании в кабель тока молнии. Изучаемый кабель содержит алюминиевую оболочку, полиэтиленовый шланг сверху, броню из круглых проволок, поверх – полиэтиленовая оболочка.

Грозовой разряд попадает в кабель, пробивая полиэтиленовую оболочку или путём индукции. Ток протекает по металлическим элементам в положительном и отрицательном направлениях, эти направления представлены на оси X рисунка 1.14[10]. При дальнейшем протекании тока молнии по металлической оболочке кабеля вследствие разницы в параметрах распространения импульсов по земле и по цепи "оболочка - земля" между металлическими элементами ОК и землей возникает напряжение, амплитуда которого достигает нескольких тысяч вольт. В результате этого происходит пробой внешнего шланга или изоляции между металлическими элементами конструкции кабеля. Во время искрового или дугового пробоя могут пострадать расположенные рядом волокна, а через образовавшееся отверстие начнет постепенно проникать влага. Амплитуда возникающего напряжения зависит от двух параметров:

- электрическое сопротивление оболочки;
- удельное сопротивление окружающей земли.

Большой ток импульса молнии (для пробоя) уменьшается по мере распространения вдоль брони, так как частично уходит в землю; на некотором расстоянии ослабевает настолько, что оболочка кабеля не пробивается. Чем больше импульс, тем большее расстояние будет им пройдено, до тех пор, пока не прекратятся пробои[10].

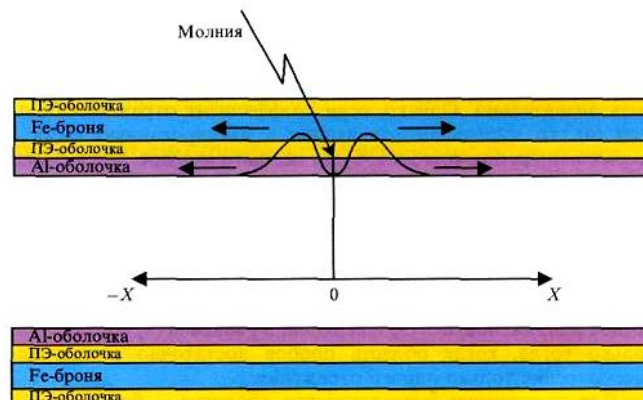


Рисунок 1.14 – Модель распространения тока [10]

Волновое сопротивление пробитой зоны значительно отличается от изолированной, коэффициент отражения близок к единице. Коэффициент затухания для изолированной зоны мал, поэтому напряжение «металлическая оболочка – броня», приложенное к изолированной части, может быть значительным (при малом коэффициенте отражения) [10].

Зависимость величин тока и напряжения представлена на рисунке 1.15 [10].

На длине кабеля порядка 100 м отражённая волна почти совпадает по фазе с исходной, максимальное значение коэффициента отражения может быть равно единице, что приводит к увеличению напряжения. С увеличением длины эффект от учёта отражаемой волны уменьшается [10].

Чем меньше расстояние между точками пробоев, тем сильнее сказывается эффект отражения на увеличении амплитудного значения напряжения в цепи «металлическая оболочка-броня» [10].

В [11] утверждается: при ударе молнии вблизи трассы прокладки подземного оптического кабеля часть тока молнии (весь ток) может попасть в металлическую оболочку; между точкой удара молнии и кабелем возникает дуговой разряд; влага, содержащаяся в объёме канала разряда, испаряется; пары и газы вблизи разряда создают высокое давление, по этой причине оболочка кабеля может быть смята ещё до попадания молнии. При протекании тока молнии по металлической оболочке кабеля между оболочкой и землёй возникает напряжение, которое может достигать нескольких тысяч вольт, что становится причиной пробоя внешней оболочки кабеля, изоляции между металлическими

составляющими [11].

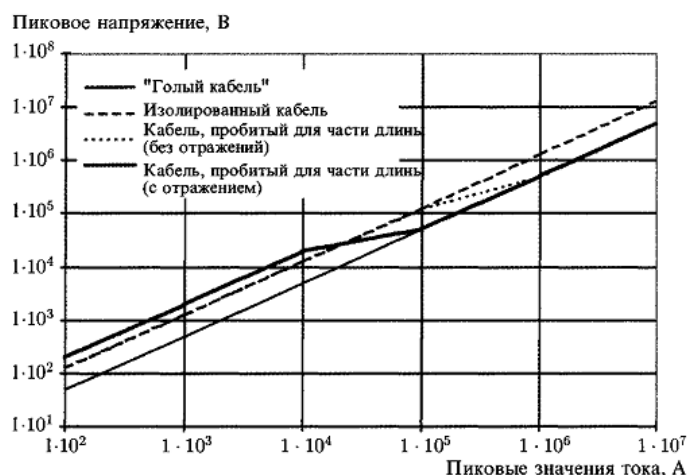


Рисунок 1.15 – Зависимость напряжения от тока для разных состояний кабеля [11]

Повреждения в ОК, подвешенном на деревянных или металлических опорах, также возможны, если металл присутствует в сердцевине или в оболочке кабеля. Подвесные ОК, в отличие от подземных, более открыты воздействию внешних полей, поэтому в их металлических элементах возможны наведения электродвижущей силы (ЭДС) и токов, а следовательно, пробой изоляционных покрытий. Ток молнии в оболочке может вызвать пробой между оболочкой и сердцевиной. Разрушение оптического волокна возможно, если волокна находятся вблизи или на пути дуги или искрового пробоя. Частота прямых ударов молнии в воздушный кабель зависит от плотности ударов молнии на 1 км^2 в год в данной местности, высоты и длины линии.

Когда происходит удар молнии с большой амплитудой тока в воздушный кабель, оболочка которого не соединена с землей, значительная часть тока молнии (I) образует дугу (перекрытие) от металлической оболочки по поверхности опоры или изолятора к земле. Если металлическая оболочка воздушного ОК в определенных местах заземлена, то возникновение повреждений зависит от двух величин:

1. расстояния между заземленными точками;
2. величины сопротивлений заземлений (уровень грозоупорности линии).

При малых расстояниях между заземлениями (порядка 100 м) и низком сопротивлении заземления (менее 20 Ом) отраженная от заземления отрицательная волна гасит потенциал на оболочке кабеля. Если расстояние между заземлениями велико (свыше 300 м) и сопротивление заземления также большое (порядка 100 Ом), то отраженная от заземления волна не успевает погасить рост потенциала на оболочке и происходит пробой в середине участка между заземлениями [11].

Согласно [12] сильные электромагнитные поля, возникающие при ударах молнии в землю вблизи кабельной линии, вызывают поворот плоскости поляризации распространяющегося по ней света. То есть являются причиной увеличения поляризационно-модовой дисперсии.

Изменение плоскости поляризации света в оптическом волокне может привести к двойному лучепреломлению и возникновению двух ортогональных составляющих волны. Каждая из составляющих будет распространяться независимо одна от другой, первоначальная энергия сигнала распределится между ними.

Если удар молнии происходит вблизи проложенного в земле диэлектрического оптического кабеля, то в волокнах кабеля может возникать эффект Керра, то есть вращение плоскости поляризации света в поперечном электрическом поле. Однократное воздействие молнии в одной точке при средних условиях вызывает сравнительно небольшой эффект.

При воздействии электромагнитного поля на оптическое волокно происходит взаимодействие проходящего по волокну света с внешним полем, в результате чего изменяется плоскость поляризации световой волны, которая поворачивается на некоторый угол, зависящий от величины поля. Удар молнии в землю создает вокруг точки удара мощные электрические и магнитные поля. Поворот плоскости поляризации света происходит при взаимодействии поля волны в волокне с внешними поперечным электрическим и продольным магнитным полями. При ударе молнии в землю величина электрического поля может достигать сотен киловольт на метр, а поворот плоскости поляризации пропорционален квадрату величины поля. Угол поворота ϕ зависит от

следующих характеристик:

- амплитуды тока молнии;
- удельного сопротивления земли;
- глубины прокладки кабеля;
- расстояния между кабелем и точкой удара молнии.

При подсушивании поверхности оптического кабеля влага испаряется (неравномерно), что приводит к местному увеличению сопротивления, при этом плотность тока на остальных участках окружности увеличивается, эти области ускоренно нагреваются и образуют подсушенную кольцевую зону с повышенным сопротивлением [12]. Падение напряжения на этом участке увеличивается до тех пор, пока не происходит пробой, это приводит к образованию частичной электрической дуги, перекрывающей воздушный промежуток длиной в несколько миллиметров [12].

На величину напряжённости дуговых разрядов влияет степень загрязнённости, интенсивность увлажнения, то есть удельная проводимость поверхности [12].

1.2.3 Ионизирующее излучение (радиация)

Исследования воздействия излучения на волоконную оптику связаны с тем, что оптические кабели начали применяться в областях радиоактивного излучения: атомных электростанциях, технологических линиях по переработке ядерных отходов. Под воздействием ионизирующего излучения ОВ могут потерять пропускную способность.

Основная причина увеличения потерь - это появление центров окраски (ОЦ) в светопроводящей сердцевине или в отражающем покрытии, по которым в одномодовых оптических волокнах распространяется значительная часть света.

Центры окраски возникают в результате комбинации электронов проводимости с дырками и пустотами, которые появляются в дефектах кристаллической решетки, образовавшихся в результате воздействия излучения. Эти центры окраски поглощают свет в некоторых частях спектра и, следовательно, вызывают дополнительные потери мощности [12].

Стоит упомянуть некоторые эксперименты и их результаты. Один из них - воздействие поля гамма-нейтронов ядерного реактора на оптическое волокно. В первой части эксперимента использовалось волокно с диаметром сердцевины 310 мкм, петля длиной примерно один метр помещалась в центральный измерительный канал ядерного реактора и подвергалась воздействию быстрых нейтронов с плотностью потока 10^{17} н / см². и мощность дозы гамма-излучения 10^8 Р / с. При воздействии гамма-нейтронного импульса наблюдалось повышение интенсивности света, вызванное люминесценцией; После прекращения воздействия описанного импульса, амплитуда опорного сигнала составляла 0,3 от исходного уровня, и наведенное поглощение было 5 дБ / м. За несколько десятков миллисекунд опорный сигнал восстановился до уровня 0,9, поглощение уменьшилось - 0,5 дБ / м. Изменение опорного сигнала и поток нейтронов во время эксперимента показано на рисунке 1.16 [13].

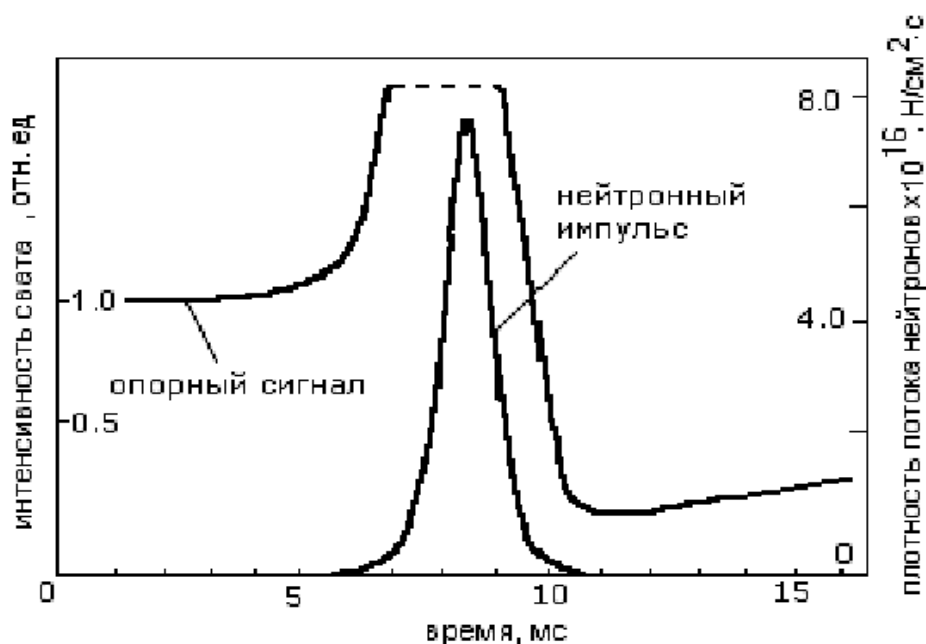


Рисунок 1.16 – Изменение опорного сигнала и потока нейтронов.

При импульсном воздействии передача информации невозможна (из-за люминесценции). Следствием воздействия является поглощение, вызванное структурными дефектами кристаллической решетки кварца.

Через некоторое время после воздействия импульса гамма-нейтронов пропускная способность оптического волокна практически полностью восстанавливается.

Вторая часть эксперимента - воздействие тепловых нейтронов с плотностью потока 10^{15} н / см² и мощностью дозы гамма-излучения 10^6 Р / с. Во время воздействия импульса в волокне появляется наведенное поглощение от 3 до 5 дБ / м, при этом оптическое волокно остается в рабочем состоянии (в отличие от первой части эксперимента) [13]. Таким образом, описанные выше эксперименты демонстрируют потери при воздействии излучения, а также подтверждают работоспособность оптического волокна при определенных параметрах импульса гамма-нейтронов.

Другой эксперимент направлен на изучение воздействия радиации на различные типы волокон: одномодовые со ступенчатым профилем показателя преломления, многомодовые со ступенчатым и градиентным профилями показателя преломления. Также было исследовано влияние различных температур в сочетании с радиацией. Облучение проводилось источником гамма-излучения при мощности экспозиционной дозы 45 Р / с, температура колебалась от минус 50 до 200 ° С. Длина облучаемой части световода составляла от 50 до 100 м. Общая тенденция для разных типов волокон - увеличение радиационных потерь.

Абсолютные потери в одномодовом волокне значительно меньше, чем в многомодовом. Каждый конкретный температурный диапазон имеет собственное значение затухания. На рисунке 1.17 [14] представлены графики, демонстрирующие характер зависимости величины увеличения коэффициента затухания от экспозиционной дозы облучения при различных температурах для одномодового оптического волокна, для многомодового волокна на рисунках 1.18, 1.19 [14].

Исходя из приведенных выше графиков, можно сказать, что радиация влияет на рост потерь (приводит к увеличению) даже при нормальных температурах (20 - 25С).°

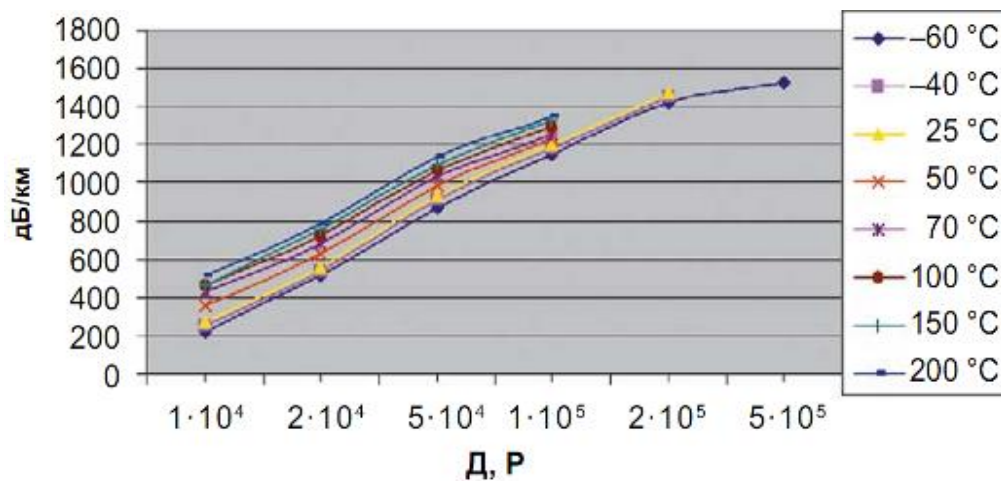


Рисунок 1.17 – Зависимость для одномодового волокна [14]

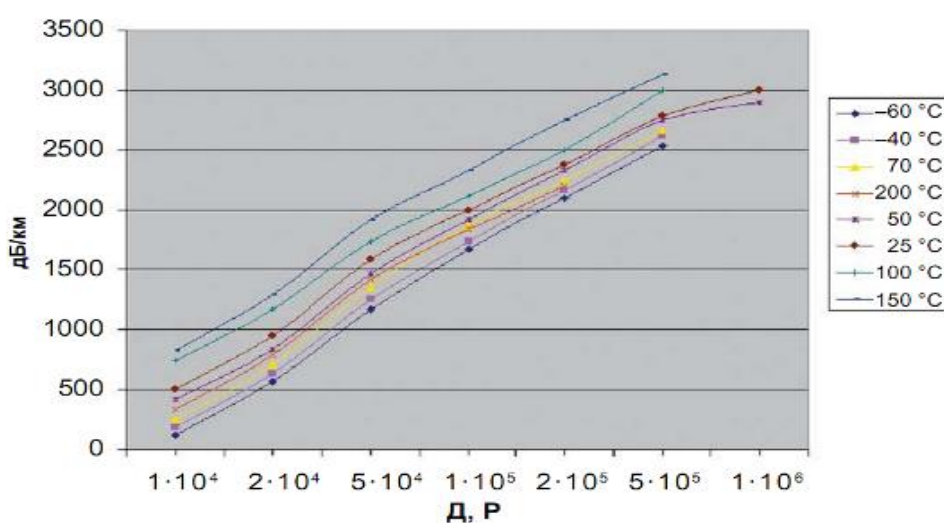


Рисунок 1.18 – Зависимость для многомодового волокна с градиентным профилем показателя преломления [14]

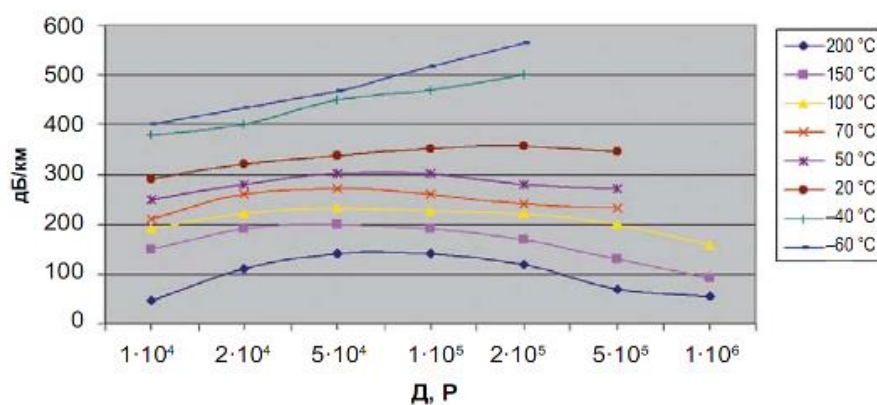


Рисунок 1.19 – Зависимость для многомодового волокна со ступенчатым профилем показателя преломления [14]

Стоит отметить, что радиационное воздействие может появляться при ударах молнии, особенно в горах и близ высоких зданий [12].

2. Анализ минимизации потерь в оптическом волокне

2.1 Способы минимизации механических воздействий

2.1.1 Стандарты

Стандарты в области телекоммуникаций разрабатываются для организации слаженной работы сетей связи.

Для оптических волокон и кабелей существуют стандарты серии G.650-659, разработанные международным объединением электросвязи.

Рекомендация G.652 описывает одномодовое оптическое волокно с длиной волны нулевой дисперсии около 1310 нм, оптимизированное для работы на этой длины волны [15]. Рекомендация включает четыре типа волокон :A, B, C, D. Основные параметры представлены в таблице 1.2 [15].

Таблица 1.2 – Параметры оптических волокон G.652

Параметр	Класс волокна			
	A	B	C	D
Потери на макроизгибе (30 мм, 100 витков), дБ	0,1 при 1550 нм	0,1 при 1625 нм	0,1 при 1625 нм	0,1 при 1625 нм
Проверочное напряжение, гПа	0,69	0,69	0,69	0,69
Коэффициент PMD, пс/ $\sqrt{\text{км}}$	0,5	0,20	0,5	0,20
Коэффициент затухания 1310 нм, дБ/км	0,5	0,4	0,4	0,4
Коэффициент затухания 1550 нм, дБ/км	0,4	0,35	0,3	0,3

Рекомендация G.653 квалифицирует оптическое волокно со сдвигом дисперсии, включает два типа волокон: A и B. Описывает одномодовое оптическое волокно с длиной волны нулевой дисперсии близкой к 1550 нм [16]. Основные параметры, важные для изучения вопроса внешних влияний представлены в таблице 1.3 [16].

Таблица 1.3 – Параметры оптических волокон G.653

Параметр	Класс волокна	
	A	B
Потери на макроизгибе (30 мм, 100 витков), дБ	0,5 при 1550 нм	0,1 при 1550 нм
Проверочное напряжение, гПа	0,69	0,69
Коэффициент PMD, пс/ $\sqrt{\text{км}}$	0,5	0,20
Коэффициент затухания 1550 нм, дБ/км	0,35	0,35

Оптическое волокно рекомендации G.657 – нечувствительное к изгибам,

двух классов (А, В). Волокна подобные этой рекомендации предназначены в основном для использования внутри помещений. Оптическое волокно класса А является подмножеством волокон рекомендации G.652 D, обладает сходными характеристиками передачи и соединения. Основное усовершенствование – улучшенные характеристики потерь на изгибе. Волокна категории В имеют параметры иные от волокон рекомендации G.652, допускают очень малые радиусы изгибов. Основные параметры оптических волокон рекомендации G.657 представлены в таблице 1.4. [17]

Таблица 1.4 – Параметры оптических волокон G.657

Параметр	Класс волокна	
	А	В
Потери на макроизгибе (15 мм, 10 витков), дБ	0,25 при 1550 нм	0,03 при 1550 нм
Проверочное напряжение, гПа	0,69	0,69
Коэффициент PMD, пс/ $\sqrt{\text{км}}$	0,2	Нет данных
Коэффициент затухания 1310 нм, дБ/км	0,4	0,5
Коэффициент затухания 1550 нм, дБ/км	0,3	0,3

Методики проверки устойчивости оптических кабелей к механическим повреждениям стандартизированы [18]. В этом документе представлены испытания на устойчивость оптического кабеля к: растяжению, раздавливанию, удару, изгибу, осевому кручению, изгибу через роликовую систему, растяжению, петле, статическому изгибу.

Требования к конструкции оптического кабеля приведены в [19]. Согласно этому стандарту оптический кабель может включать в себя следующие элементы: оптическое волокно, оптические модули (с дополнительными силовыми элементами, с наполнителем), кордели, профилированный сердечник, промежуточные оболочки, внешнюю оболочку, защитный шланг, защитные покрытия. Конкретный набор позиций определяется технической инструкцией, маркой оптического кабеля и требованиями заказчика.

Усилие, прикладываемое к кабелю, когда он помещается в кабелепровод, нормализуется, чтобы избежать отрицательного воздействия на параметры кабеля и оптического волокна. [10] Допустимая сила зажима зависит от: массы кабеля, коэффициента трения (внешняя оболочка кабеля и канала трубы), количества затягиваемых кабелей, расположения кабелей в трубе, наличия

изгибов на трассе и разница уровней. Использование специальной смазки позволяет увеличить длину кабеля, протянутого на конце полиэтиленового телефонного трубопровода, без изменения физических и оптических характеристик оптического волокна [10].

2.1.2 Этап производства

Соблюдение правил технологии производства важно для качественного и продолжительного функционирования оптического волокна.

Прочность оптического волокна определяется условиями получения опорных труб, технологией изготовления заготовок, зависит от технологических параметров вытягивания волокна (температуры, натяжения, концентрации взвешенных частиц в высокотемпературной зоне). [20]

Разрушение оптического волокна начинается, часто, с поверхности, следовательно, оболочка должна быть как можно более прочной.

Для обеспечения прочности, в методе модифицированного химического парофазного осаждения (MCVD) используются трубы из синтетического кварцевого стекла, содержащие меньшее количество микродефектов, чем трубы из природного сырья.

Влияние дефектов оболочки на прочность оптического волокна снижается двумя способами: нанесением на заготовку слоя особо чистого кварцевого стекла, нанесением тонкого слоя легированного кварцевого стекла (с меньшей вязкостью или коэффициентом температурного расширения) [20]. Увеличить прочность оптического волокна позволяет температурная или химическая обработка. Такая обработка позволяет увеличить долговечность низкопрочного состояния в 10-100 раз [20].

Прочность волокна увеличивает первичное покрытие, состоящее из двух слоёв акрилата. Внутренний слой – более мягкий (гелеобразный), наружный – твёрдый. Такое покрытие повышает устойчивость волокна к микроизгибам, защищает от воздействия влаги [20], придаёт гибкость волокну.

По окончании процесса изготовления (после нанесения первичного покрытия и измерения диаметра) проводится контрольное испытание на наличие повреждений в оптическом волокне: в течение нескольких секунд волокно

подвергается воздействию растягивающего усилия [20].

2.1.3 Способы защиты оптических волокон и кабелей

Оптические волокна и кабели должны соответствовать существующим стандартам.

Компании-производители разрабатывают собственные типы волокон с улучшенными характеристиками, соответствующие стандартам.

Компанией Corning разработаны оптические волокна с улучшенными показателями затухания, стойкостью к изгибам.

Основные параметры оптических волокон представлены в таблице 1.5 [21].

Таблица 1.5 – Параметры оптических волокон Corning

Марка оптического волокна	Параметр				
	Затухание (1310 нм), дБ/км	Затухание (1550 нм), дБ/км	Прирост затухания при изгибе (1550 нм,), дБ/км	ПМД, пс/ $\sqrt{\text{км}}$	Натяжение, гПа
Corning ClearCurve XB	0,33-0,35	0,19-0,20	0,50 (10 мм, 1 виток)	0,1	0,7
Corning ClearCurve LBL	0,33-0,35	0,19-0,20	0,4 (7,5 мм, 1 виток)	0,2	0,7
Corning SMF-28 Ultra	0,32	0,18	0,50 (10мм, 1 виток)	0,1	0,7
Corning SMF-28 ULL	0,28-0,31	0,17-0,18	0,1 (32 мм, 1 виток)	0,1	0,7

Одномодовое оптическое волокно марки CorningClearCurve XB имеет улучшенные изгибные характеристики (по сравнению со стандартным одномодовым волокном), превосходит требования рекомендации G.657 А к приращению затухания на изгибе, полностью удовлетворяет требованиям рекомендации G.652 D.

Одномодовое волокно марки CorningClearCurve LBL отвечает по требованию рекомендаций G.657 А, В, G.652 D. Обладает лучшими изгибными характеристиками.

Corning SMF-28 Ultra – это оптическое волокно, отвечающее требованиям рекомендации G.652.D, обладает минимальными потерями и улучшенными характеристиками изгибов, характеристики этого волокна лучше, чем в рекомендации G.657 А. Волокно данного типа обладает лучшими характеристиками, чем оптические волокна предыдущих разработок.

Оптическое волокно Corning SMF-28e+ LL соответствует рекомендации G.652.D, обладает лучшими характеристиками, чем другие волокна, отвечающие требованиям данной рекомендации.

Corning SMF-28 ULL – это волокно, обладающее наименьшими потерями среди всех одномодовых волокон (компании «Corning») наземных сетей связи, обладает низкой поляризационно-модовой дисперсией. Характеристики данного волокна позволяют увеличить протяжённость линий связи, уменьшить количество усилительных участков.

Компанией Sumitomo исследовано несколько типов одномодовых оптических волокон с улучшенными характеристиками.

Волокно PureAccess – это оптическое волокно нечувствительное к изгибам, соответствует требованиям рекомендаций G.652 D, G.657 A, применяется при построении сетей доступа.

PureAccess-R5 – это оптическое волокно стойкое к изгибам, нагрузкам, скручиванию.

Основные параметры представленных волокон указаны в таблице 1.6.

Конструктивные элементы волоконно-оптических кабелей обеспечивают защиту оптического волокна от внешнего влияния.

Существует множество фирм-производителей как отечественных, так и зарубежных.

Таблица 1.6 – Параметры оптических волокон Sumitomo

Марка	Параметр			
	Затухание (1310 нм), дБ/км	Затухание (1550 нм), дБ/км	Прирост затухания при изгибе (1550 нм), дБ/км	ПМД, пс/ $\sqrt{\text{км}}$
PureAccess	0,35	0,21	0,5	0,2
PureAccess-R5	0,40	0,25	0,15	Нет данных

Кабели разных производителей имеют отличные конструкции и маркировку, но все могут быть разделены на определенные группы (например, по назначению и месту прокладки).

Оптический кабель – совокупность нескольких уровней защиты оптического волокна. Каждый из уровней защищает от того или иного типа

воздействий.

Элементы, защищающие кабель от механических воздействий следует рассмотреть на примере кабелей компании «Саранскабель».

Кабель марки ОКБ предназначен для прокладки в грунт, канализацию, туннели, коллекторы. Кабель содержит сердечник модульной конструкции с центральным силовым элементом из стеклопластикового прутка; оптические волокна свободно уложены в модулях. Пространство внутри оптических модулей и между ними занимает гидрофобный наполнитель. Поверх сердечника наложена лента из полиэтилентерефтолата (ПЭТ-лента), далее промежуточная оболочка из полиэтилена, поверх накладывается оболочка из стальных оцинкованных проволок, свободное пространство между промежуточной оболочкой и элементами бронепокрова занимает гидрофобный наполнитель. Сверху проволочной брони накладывается защитная оболочка из полиэтилена высокой плотности [21].

Защиту от растяжения обеспечивает стеклопластиковый прутки, спиралевидная укладка оптического волокна. Бронепокров предотвращает раздавливание и растягивание оптического волокна.

Кабель ОККМ предназначен для подвеса на опорах; содержит модульный сердечник, центральный элемент из стеклопластикового прутка, волокна внутри модуля уложены свободно, пространство внутри модулей и между ними занимает гидрофобный наполнитель, поверх сердечника наложена ПЭТ-лента, далее накладываются арамидные нити, на повив накладывается оболочка из полиэтилена высокой плотности [21].

Арамидные нити обеспечивают защиту от растягивающих и раздавливающих воздействий.

Параметры кабелей указаны в таблице 1.7 [21].

Большие механические нагрузки выдерживает кабель, предназначенный для подземной прокладки (ОКБ).

Таблица 1.7 – Параметры оптических кабелей

Параметр	Кабель марки ОКБ	Кабель марки ОККм
----------	------------------	-------------------

Раздавляющее усилие	от 0,4 кН/см	3 кН/100 мм
Растягивающее усилие, кН	7 - 30	3 - 10
Радиус изгиба	не менее 20 диаметров кабеля	не менее 20 диаметров кабеля
Вес с полиэтиленовой оболочкой, кг/км	от 245	от 122
Температура работы	минус 40 - +60	минус 60 - +70
Срок службы	25 лет	25 лет

Приведённые типы оптических кабелей, волокон и нормативных документов указывают, что негативные последствия внешних механических воздействий на оптическое волокно могут быть минимизированы в той или иной степени, следовательно, обеспечивают качественную работу сетей связи.

2.2 Средства защиты оптических волокон от температурных влияний

2.2.1 Стандарты

Сейчас разработаны государственные стандарты для проверки качества оптических кабелей: стойкости к низким и высоким температурам, температурным циклам разработаны государственные стандарты, регламентирующие правила, технологию, порядок тестирования.

В настоящее время испытания самонесущих волоконно-оптических кабелей (ОКСН) на циклическую смену температур, независимо от свойств усиливающего элемента (высокомодульные пряди или стеклопластиковый прутки), проводятся в соответствии с ГОСТ Р МЭК 794-1-93. Согласно данному стандарту: «Условия испытаний при измерении температурных зависимостей должны моделировать самые тяжелые условия эксплуатации»

В [22] определяются методы испытаний на устойчивость к климатическим внешним воздействующим факторам, а именно испытания на устойчивость к воздействию температуры.

2.2.2 Типы оптических волокон и кабелей

Коэффициент затухания оптического волокна определяется параметрами температурного цикла кабеля при эксплуатации в различных температурных условиях. В документации на оптический кабель указывается максимальное и минимальное значение эксплуатационной температуры, относительное изменение затухания в оптическом волокне в этом диапазоне температур не превышает нескольких десятых дБ/км [10]. Производители стекловолокна и

кабелей разрабатывают бренды с различными диапазонами рабочих температур. Обеспечивают защиту для оптических волокон покрытия и оболочки.

Компанией Draka разработано одномодовое оптическое волокно марки BendBright-XS. Эксплуатационный диапазон этого волокна составляет от -60°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Возможность работы в таком диапазоне обеспечивается специальным полиамидным покрытием, нанесённым на оптическое волокно[23]. °

Кабели компании OFS, например, марки ДКП имеют рабочий температурный диапазон от -60°C до $+70^{\circ}\text{C}$ [23], что можно считать достаточным для использования такого кабеля в условиях климата РФ. °

В настоящее время данный вид продукции особо востребован, и на территории России данную продукцию выпускают достаточно много предприятий. Кабели компании ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания» имеют рабочий температурный диапазон для прокладки в грунт от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$, подвесной от -60°C до $+70^{\circ}\text{C}$, внутри объектные от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

2.3 Средства защиты оптического волокна от электромагнитных воздействий

2.3.1 Стандарты

Согласно [22] молниестойкость оптического кабеля зависит от механической прочности кабеля, от тепловых характеристик материалов, проводимости металлических оболочек (бронепокрова), электрической прочности других элементов кабеля.

Согласно [11] даются рекомендации по защите кабелей, оценивается эффективность защитных мероприятий, отражены способы определения риска повреждения кабеля молнией.

Вопросы защиты оптических кабелей от ударов молнией рассматриваются в рекомендации МСЭ-Т К-25[13].

Защита оптических кабелей от ударов молнии может осуществляться: прокладкой оптических кабелей с повышенным сопротивлением молнии, прокладкой полностью диэлектрических кабелей, прокладкой защитных проводов в земле параллельно оптическому кабелю. С помощью защитных

систем они перехватывают разряд молнии, что снижает риск повреждения оптического кабеля.

Коэффициенты защитного действия таких проводов указаны в таблице 1.8. [12] Коэффициенты получены при прокладке проводов на глубине 0,4 метра и расстоянии от оптического кабеля равном 0,5 метра. Приведены значения как для одного, так и для двух проводов.

Таблица 1.8 – Коэффициенты защитного действия

Удельное сопротивление грунта, Ом/м	Коэффициент защитного действия				
	Одного провода	Двух проводов, при расстоянии между проводами, м			
		0,4	1	2	4
100	0,03	0,02	0,002	0,001	0,40
300	0,18	0,15	0,06	0,03	0,32
500	0,25	0,21	0,10	0,06	0,19
700	0,34	0,28	0,16	0,09	0,13
1000	0,41	0,31	0,22	0,15	0,18
3000	0,63	0,54	0,48	0,41	0,23
5000	0,73	0,63	0,58	0,49	0,36
7000	0,78	0,69	0,63	0,55	0,44
10000	0,82	0,77	0,71	0,64	0,52

Если отдельно стоящие деревья или другие объекты выше 6 метров, расположены недалеко от трассы, то следует предусматривать защиту при расстоянии между кабелем и объектом меньше расстояний, указанных в таблице 1.9[13].

Таблица 1.9 – Допустимое расстояние защиты

Удельное сопротивление грунта, Ом/м	Наименьшее допустимое расстояние, м
До 100	5
Более 100 до 1000	10
Более 1000	15

2.3.2 Оптические кабели

Согласно [24] выделяют семь типов кабелей предназначенных для подвеса на опорах: в фазном проводе (ОКФП), навивной на фазу (ОКН(ФП)),

присоединённый (ОКП), самонесущий (ОКСН) в грозозащитном тросе (ОКГТ), навивной на грозотрос (ОКН(ГТ)).

В структуре кабеля ОКГТ можно выделить две составляющие: внешний одинарный (двойной) повив, оптический модуль. Применяется стальная проволока плакированная алюминием, для обеспечения стойкости к коротким замыканиям, могут использоваться алюминиевые проволоки. Комбинации различных проволок позволяют добиться нужных прочностных характеристик. Применяется как заземлённый протяжённый тросовый молниеотвод, натянутый вдоль воздушной линии электропередачи напряжением от 35кВ и выше, служащий для защиты токопроводящих проводов от прямых ударов молнии, а также для выполнения функций кабеля связи и передачи данных посредством оптического волокна. Оптический кабель данного типа обладает следующими преимуществами: большой срок службы, отсутствие ограничений по напряжению, возможность монтажа при низких температурах [24].

Самонесущие диэлектрические кабели (ОКСН) при монтаже располагаются, как правило, ниже фазовых проводов. При проектировании линий связи с кабелем такого типа необходимо учитывать влияние наведённых токов и напряжений, возникающих под действием фазовых проводов[24]. Применение таких кабелей на линиях с напряжением выше 110 кВ ограничено. Кабели ОКСН обладают низкой стойкостью к повреждению дробью [24].

Оптический кабель типа ОКН навивается на имеющийся грозозащитный трос или фазовый провод. Для кабелей такого типа характерны: малая масса и габариты, лёгкость прокладки, экономичность. Характеристики кабеля в грозозащитном тросе (ОКГТ-с) и полностью диэлектрического (ОКК) компании Саранскабель представлены в таблице 1.10[25].

Таблица 1.10 – Характеристики оптических кабелей

Характеристика	Марка кабеля	
	ОКГТ-с	ОКК
Вес, кг/км	От 352	От 133
Диаметр, мм	От 13,1	От 12,5
Температура эксплуатации	Минус 60 - +85	Минус 60 - +70
Потенциал электрического поля, кВ	110 и выше	До 25
Срок службы, лет	25	25

Из таблицы видно, что потенциал электрического поля для полностью диэлектрического кабеля значительно меньше, чем у оптического кабеля, в который встраивается молниеносная сеть, то есть приложение первого напряжения сети, к ее носителю, к подвешенному кабелю должно быть ограничено. Диапазон рабочих температур для оптического кабеля, встроенного в ток вспышки, больше, чем для диэлектрического кабеля; вес первого значительно больше, чем второго.

3. Анализ методов несанкционированного доступа к информации и способа его обнаружения

3.1 Классификация методов съема информации с линии передач

Несанкционированный съем информации с ВОЛС возможен, даже не смотря на высокую стоимость процесса. Способы съема информации с ВОЛС можно разделить на несколько групп.

По способу соединения: безразрывный, разрывный, локальный и протяженный.

По способу регистрации усиления:

- пассивные - регистрация излучения с боковой поверхности оптоволокна;
- активные - регистрация излучения, которое выводится так же через боковую поверхность оптоволокна, но при помощи специализированных средств, которые способны менять параметры этого сигнала;
- компенсационные - регистрация излучения, выводимого через боковую поверхность оптоволокна при помощи специализированных средств с последующим формированием излучения и его вводом в оптоволокно. Это компенсирует потери мощности при выводе излучения с линий.

Безразрывный локальный НСД - является самым популярным способом съема информации, это способ линзовой фокусировки вытекающих мод на месте сгиба волокон.

Устройства разрывного НСД обеспечивают более надежное извлечение информации. Данный съем информации не может быть выполнен, если линия связи включена, поэтому она должна быть временно отключена. Отключение линии связи может быть сигналом о факте наличия самого доступа, поэтому для

маскировки факта съема могут нанести преднамеренные повреждения на кабель ВОЛС.

Пассивные способы съема информации в отличие от активных способов, более скрытны. В действительности они не изменяют параметров распространения излучения внутри ВОЛС, но обладают очень низкой чувствительностью. В связи с этим для перехвата информации используются участки, в которых уровень бокового излучения выше, чем в остальных участках линии связи. Несмотря на изоляцию волокон внутри кабеля, часть излучения все же может проходить через внешнюю оболочку, которая становится каналом утечки информации. Возможность бокового излучения с поверхности волоконно-оптического кабеля обусловлена следующими факторами: существование вытекающих мод на начальном участке волокна, обусловленное возбуждением его источника излучения с пространственным распределением, превышающим апертуру волокна.

Излучение вытекающих и излученных мод по всей длине оптического волокна обусловлено рэлеевским рассеянием на структурных неоднородностях материала оптоволокна, характерные размеры которых существенно меньше длины волны излучения. Преобразование направляемых мод в вытекающие происходит за счет локальных изменений волноводного параметра на волноводных неровностях волокна. Появление распределенного и локального давления на оптическое волокно.

Использование вытекающих мод в местах стыковки оптического волокна очень опасно с точки зрения обеспечения информационной безопасности, поскольку можно организовать режим прозрачности в случае несанкционированного съема с линий связи. При этом система не будет регистрировать выбор большого сигнала, что усложняет процесс регистрации факта удаления. Но при этом обеспечить безопасность таких площадок несложно, достаточно провести организационно-технические мероприятия.

Активные методы позволяют излучать значительно большую мощность через боковую поверхность оптического волокна. Однако при этом происходит изменение параметров распространения излучения по оптическому волокну

(уровень мощности в канале, модовая структура излучения), что может быть легко обнаружено. К способам этой группы относятся:

- 1) механический изгиб оптоволоконна.
- 2) вдавливание зондов в оболочку;
- 3) бесконтактное соединение оптоволоконна.
- 4) шлифование и растворение оболочки;
- 5) подключение к оптоволоконну фотоприемника с помощью направленного ответвителя;
- 6) термическое деформирование геометрических параметров оптоволоконна;
- 7) формирование неоднородностей в оптоволоконне.

Компенсаторные методы сочетают в себе многие преимущества первых двух групп - это скрытность и эффективность, но они не лишены сложностей с технической стороны реализации. Выход излучения, модуляция и обратные входы должны осуществляться через боковую поверхность с коэффициентом пропускания, близким к единице. Однако статистический характер распределения параметров оптоволоконна по длине (диаметров, показателей преломления сердцевины и оболочки и др.), спектральной полосы полупроводникового лазера и характеристик устройства съема приводит к тому, что разность между выведенным и введенным обратно уровнями мощности носит вероятностный характер. Поэтому коэффициент передачи может принимать различные значения. Практические устройства, реализующие компенсационные способы съема информации с боковой поверхности оптоволоконна, в настоящее время неизвестны. Защитные оболочки и элементы конструкции кабеля существенно ослабляют боковое излучение. Таким образом, перехват информации одним из вышеперечисленных методов возможен только в том случае, если нарушается целостность внешней защитной оболочки кабеля и осуществляется прямой доступ к волоконно-оптическим кабелям.

Также стоит рассмотреть интересный способ - протяженный безразрывный съем информации. Его осуществление происходит на пологом изгибе или же на прямом волокне под действием соответствующих низких

температур. При воздействии низких температур на кабели ВОЛС происходит изменение коэффициентов преломления стекла, в результате этого в сердцевине может повыситься уровень рассеяния.

Методы присоединения к оптоволокну: сгибание волокна, оптическое расщепление, использование неоднородных волн, V - образный вырез и рассеяние.

Сгибание волокна. Этот метод подключения включает в себя демонтаж кабеля к волокну. Он основан на принципе распространения света по волокнам путем полного внутреннего отражения. Для достижения желаемого эффекта угол падения света при перемещении между волокнистым сердечником и корпусом должен быть больше критического угла полного отражения. В противном случае, часть света будет излучаться через оболочку ядра. При сгибании волокна, оно искривляется таким образом, чтобы угол отражения стал меньше чем критический, и свет начал проникать через оболочку.

Существуют два типа сгибов: микросгиб и макрсгиб. Микросгиб, применение внешней силы приводит к острой, но микроскопической кривизне поверхности, что приводит к осевым сдвигам на несколько микрометров и пространственному смещению длины волны на несколько миллиметров. Через дефект проникает свет, и он может использоваться для съема информации.

Макросгиб, для каждого типа волокна существует минимально допустимый радиус изгиба. Это свойство также может быть использовано для извлечения информации. Если волокно сгибается при меньшем радиусе, то возможен пропуск света, достаточный для съема информации. Обычно минимальный радиус изгиба одномодового волокна составляет 6.5-7.5 см, за исключением волокна специального типа. Многомодовое волокно может быть изогнуто до 3.8 см.

Оптическое расщепление. Оптическое волокно помещается в сплиттер, который преобразует часть оптического сигнала. Этот метод является навязчивым, потому что он требует разрезания волокон, что может вызвать тревогу. Однако в незамеченном звене этот тип может работать годами.

Использование неоднородных волн. Это метод, используемый для перехвата сигнала от исходного волокна к приемному волокну путем тщательной полировки оболочек до поверхности ядра, а затем их объединения. Это позволяет некоторому сигналу проникать во второе волокно. Этот метод трудно выполнить в полевых условиях.

V - образный вырез. V-образный вырез – это специальная выемка в оболочке волокна близкая к ядру, сделанная таким образом, что угол между светом, распространяющимся в волокне и проекцией V-выреза больше, чем критический. Это вызывает полное внутреннее отражение, при котором часть света будет уходить из основного волокна через оболочку и V-образный вырез.

Рассеяние. На ядре волокна создается решетка Брэгга, с ее помощью достигается отражение части сигнала с волокна. Это достигается наложением и интерференцией УФ лучей, создаваемых лазером с УФ возбуждением.

3.2 Защита от подключений

Основные методы, предотвращающие или снижающие влияние посторонних подключений: мониторинг сигналов вблизи волокна, электрические проводники, мониторинг мощности мод, измерение оптически значимой мощности и оптические рефлектометры.

Мониторинг сигналов вблизи волокна. Производство оптических волокон с дополнительными волокнами, передающими специальный управляющий сигнал. Этот метод увеличивает стоимость кабеля, но любая попытка согнуть кабель приводит к потере контрольного сигнала и вызывает сигнал тревоги.

Производство с дополнительными волокнами. Электрические проводники. Данный метод состоит в интегрировании электрических проводников в кабель, и если оболочка кабеля нарушена, то изменяется емкость между электрическими проводниками и это может использоваться для срабатывания тревоги.

Мониторинг мощности мод. Процесс применим к мультимодовому волокну, где затухание является функцией от моды, в которой распространяется свет. Подсоединение влияет на определенные моды, но при этом затрагивает и другие моды, что приводит к перераспределению энергии от проводящих мод к

непроводящим. Это изменяет соотношение энергии в ядре волокна и его оболочки. Изменение мощности в модах может быть обнаружено на стороне приема с помощью соответствующего измерения, которое является информацией для принятия решения: есть ли подключение к кабелю или нет.

Измерение оптически значимой мощности. В волокне может осуществляться мониторинг уровня оптически значимой мощности. В том случае, если она отличается от установленного значения, срабатывает сигнал тревоги. Однако это требует соответствующей кодировки сигнала, так чтобы в волокне присутствовал постоянный уровень сигнала, не зависящий от наличия передаваемой информации.

Оптические рефлектометры. Поскольку подсоединение к волокну забирает часть оптического сигнала, для обнаружения подключений могут использоваться оптические рефлектометры. С их помощью можно установить расстояние по трассе, на котором обнаруживается падение уровня сигнала.

4. Анализ общих технических требований

4.1 Требования к механическим параметрам ОК

ОК должны быть стойкими к воздействию растягивающих нагрузок, прикладываемых к нему в процессе монтажа и эксплуатации и должны выдерживать МДРН, которая возникает при эксплуатации. МДРН определяется изготовителем ОК для каждого конкретного маркоразмера с учетом требований заказчика. Кабели должны быть стойкими к МДРН:

- для прокладки в ЗПТ - не менее 1,0 кН;
- в кабельной канализации, коллекторах и туннелях - не менее 1,5 кН;
- по мостам и эстакадам, в грунт - не менее 2,5 кН;
- подвесные самонесущие - не менее 3,0 кН; - встроенные в грозозащитный трос и фазный провод - не менее 7,0 кН;
- подводные - не менее 20 кН;

- подвесные присоединяемые с ОМ - не менее 1,0 кН;
- подвесные абонентские - не менее 1,0 кН;
- для внутренней прокладки - не менее 1,0 кН;
- монтажные - не менее 0,05 кН. 5.5.1.2.

ОК должны допускать кратковременные усилия растяжения, превышающие допустимые на 15 %.

ОК должны быть стойкими к одиночному ударному воздействию с начальной энергией удара:

- для прокладки в ЗПТ, в кабельной канализации, по мостам и эстакадам - не менее 5 Дж;
- для прокладки в грунт, подводные, подвесные - не менее 10 Дж;
- для внутренней прокладки - не менее 3 Дж;
- монтажные - не менее 1 Дж.

ОК должны выдерживать не менее 20 циклов изгибов на угол $\pm(90\pm5)^\circ$ при радиусе не менее 20-кратного наружного диаметра и при минимально допустимой температуре монтажа, но не выше -10°C . Также выдерживать не менее 10 циклов осевых закручиваний на угол $\pm(360\pm20)^\circ$ на длине не более 4 м при минимально допустимой температуре монтажа, но не выше -10°C . Быть стойкими к воздействию раздавливающей нагрузки:

- подвесные - не менее 0,3 кН/см;
- встроенные в грозозащитный трос и фазный провод не менее 1,0 кН/см;
- для прокладки в ЗПТ, в кабельной канализации, по мостам и эстакадам - не менее 0,3 кН/см;
- для прокладки в грунт - не менее 0,4 кН/см;
- подводные - не менее 1,0 кН/см;
- для внутренней прокладки - не менее 0,2 кН/см;

- монтажные - не менее 0,05 кН/см.

ОК должны быть стойкими к 10-ти перемоткам с барабана на барабан с радиусом шейки равным 20 номинальным диаметрам кабеля.

4.2 Требования к электрическим параметрам ОК

Электрическое сопротивление изоляции для кабелей с полимерной оболочкой между металлическими конструктивными элементами и землей (водой) должно быть не менее 2000 МОм·км. Полимерная оболочка кабеля должна выдерживать напряжение, приложенное между металлическими элементами (при их наличии), соединенными вместе, и водой (землей). Значение напряжения устанавливают в соответствии с ГОСТ 23286 и указывают в ТУ на кабели конкретных марок. ОК с металлической броней из стальной ленты или стальных проволок по ГОСТ 7006 [23] должны выдерживать воздействие импульсного тока, значение которого указывают в ТУ на кабели конкретных марок. Сопротивление изоляции между токопроводящими жилами и металлическими конструктивными элементами ОК должно быть не менее 10000 МОм·км. Испытательное напряжение изоляции токопроводящих жил в течение 2 мин должно быть не менее 2,5 кВ переменного тока частотой 50 Гц и не менее 5 кВ постоянного тока.

4.3 Требования к стойкости ОК внешним климатическим воздействиям

При наличии полимерной оболочки у кабелей наружной прокладки, она должна быть устойчива к погодным условиям, соляному туману и ультрафиолетовому излучению.

ОК должны быть стойкими к воздействию повышенной рабочей температуры среды: - для прокладки в ЗПТ, кабельной канализации, по мостам и эстакадам, в грунт, подводные, для внутренней прокладки - не менее плюс 50°C; - подвесные - не менее плюс 70°C. Быть стойкими к воздействию пониженной рабочей температуры среды:

- для прокладки в ЗПТ, кабельной канализации, в грунт, подводные - не менее минус 40°C;
- по мостам и эстакадам - не менее минус 50°C;
- подвесные - не менее минус 60°C;
- для внутренней прокладки - не менее минус 10°C.

Оптические кабели для наружного режима должны быть продольно водонепроницаемыми, а также для водо-опасного режима они должны быть устойчивы к внешнему гидростатическому давлению не менее чем с одним значением величины 0,7 МПа. Гидрофобный наполнитель кабеля (при его наличии) не должен иметь каплепадения при температуре 70 С. Оптический неметаллический самонесущий кабель, размещаемый на элементах ВЛ, должен удовлетворять требованиям СТО 56947007- 33.180.10.175-2014 в части стойкости к воздействию электрического поля. Оптический кабель, встроенный в грозозащитный трос, размещаемый на элементах ВЛ, должен удовлетворять требованиям СТО 56947007-33.180.10.174-2014 в части:

- термической стойкости;
- стойкости к воздействию грозовых перенапряжений.

5. Экспериментальное исследование влияния макроизгибов на уровень мощности сигнала в ОВ

Как было сказано выше, затухания в оптическом кабеле возникают вследствие внешних факторов. К внешним факторам относятся механические, атмосферно-климатические, электромагнитные и ионизирующие воздействия. Изучив теоретическую основу исследуемого вопроса, мы провели эксперимент с целью выявления зависимости потерь сигнала (затухания) от механического воздействия, т.е. изгиба. Для изучения вопроса и получения данных, использовалась установка, схема которой изображена на рисунке (1.20). Данная установка состоит из: источника оптического излучения SNR SNR-OLS-01, измерителя мощности SNR SNR-PMT-12C, оптического волокна Corning

G 657 Fiber 9/125 Optical Cable LS2H type CO-PS-1 2996M, а также барабанов (цилиндров) с разными диаметрами (8мм; 15 мм; 30мм). Для получения сравнительных характеристик исследование проводилось на двух длинах волн 1310нм и 1550нм, так как данные диапазоны являются окном прозрачности, в которых сигнал распространяется вдоль волокна с малым затуханием.

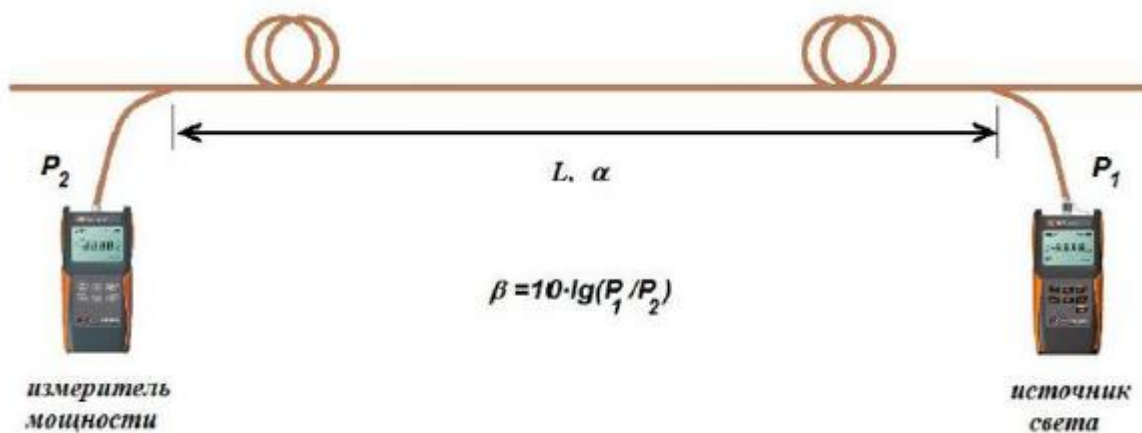


Рисунок 1.20 – Схема для измерения исходного и полученного значения мощности.

Для проведения опыта составлен план действия:

1. Собрать установку согласно схеме (рис. 1.20)
2. Получить данные для длины волны 1310 нм с использованием барабанов разных диаметров и без них
3. Получить данные для длины волны 1550 нм с использованием барабанов разных диаметров и без них
4. Из полученных данных составить сравнительные таблицы.
5. Используя таблицы построить графики
6. Провести анализ полученных результатов и сделать вывод.

Используя данную установку, в процессе эксперимента измерялась мощность сигнала на выходе из ОВ и затухание. В ходе работы в первую очередь проводили замеры без намотки оптического волокна на барабан (цилиндр). Затем установку дополняли барабаном, барабан менялся в зависимости от диаметров (8 мм; 15 мм и 30 мм). При этом последовательно наматывали от одного до пяти витков оптического волокна, на барабан, имитируя изгиб. Полученные измерения в ходе эксперимента вносились в соответствующие таблицы.

Результаты измерений представлены в таблице 1.11:

Таблица 1.11 Показания датчиков установки при использовании барабана диаметром 8 мм

Число витков	1310нм		1550нм	
	дБ	мкВт	дБ	мкВт
0	0,48	80,23	0,2	96,72
1	4,12	23,84	20,54	5,54
2	7,54	13,1	37,04	0,241
3	8,87	10,1	36,62	0,01
4	9,23	8,23	36,62	0,01
5	11,19	6,54	36,62	0,01

Таблица 1.12 Показания датчиков установки при использовании барабана диаметром 15 мм

Число витков	1310нм		1550нм	
	дБ	мкВт	дБ	мкВт
0	0,48	80,23	0,2	96,72
1	0,5	78,97	1,24	75,25
2	0,53	76,77	3,39	44,18
3	0,58	71,76	4,99	31,57
4	0,73	60,72	7,86	15,62
5	0,98	57,46	9,99	9,62

Таблица 1.13 Показания датчиков установки при использовании барабана диаметром 30 мм

Число витков	1310нм		1550нм	
	дБ	мкВт	дБ	мкВт
0	0,48	80,23	0,2	96,72
1	0,48	80,23	0,25	95,32
2	0,48	80,23	0,31	92,07
3	0,48	80,23	0,38	90,52
4	0,49	80,07	0,48	88,54
5	0,49	80,03	0,6	86,71

Анализируя данные из таблиц 1.11, 1.12, 1.13, можно сделать вывод о том, что с увеличением числа витков на барабанах увеличивается уровень затухания, а мощность сигнала уменьшается. Диаметры барабанов, также оказывают влияние на данные, чем больше диаметр барабана, тем меньше наблюдается затухание. При сравнении частот, видно, что показания затухания длины волны 1550 нм ниже показаний затухания длины волны 1310 нм. Это объясняется

Для выявления зависимости потерь мощности от количества витков с диаметрами 8, 15 и 30 мм нами построены графики.

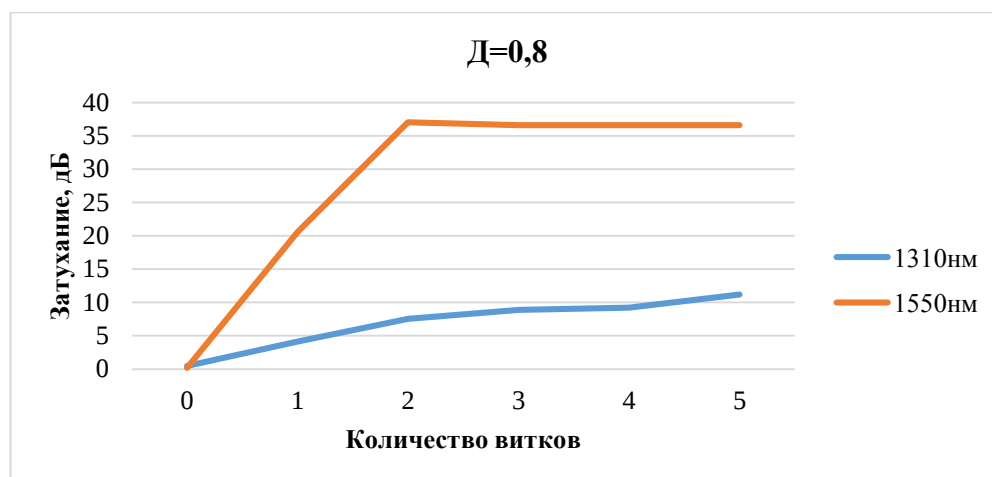


Рисунок 1.21 – Зависимость потерь мощности от количества изгибов, с диаметром равным 8 мм.

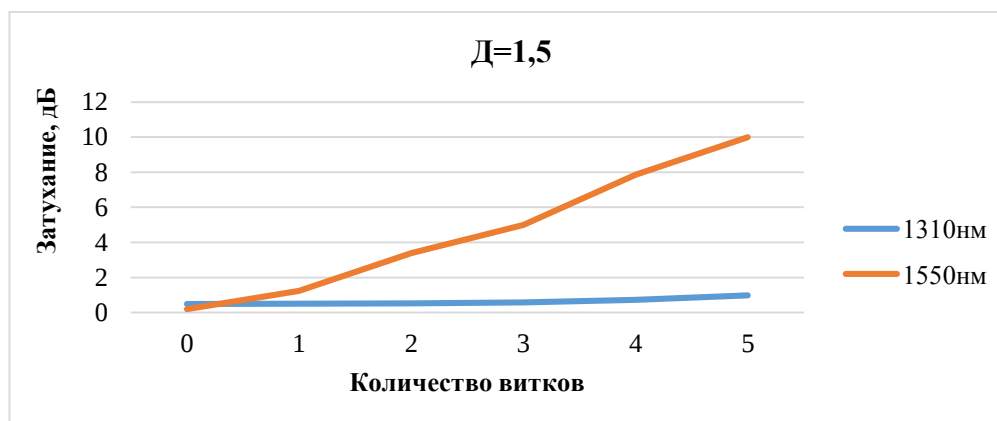


Рисунок 1.22 – Зависимость потерь мощности от количества изгибов, с диаметром равным 15 мм.

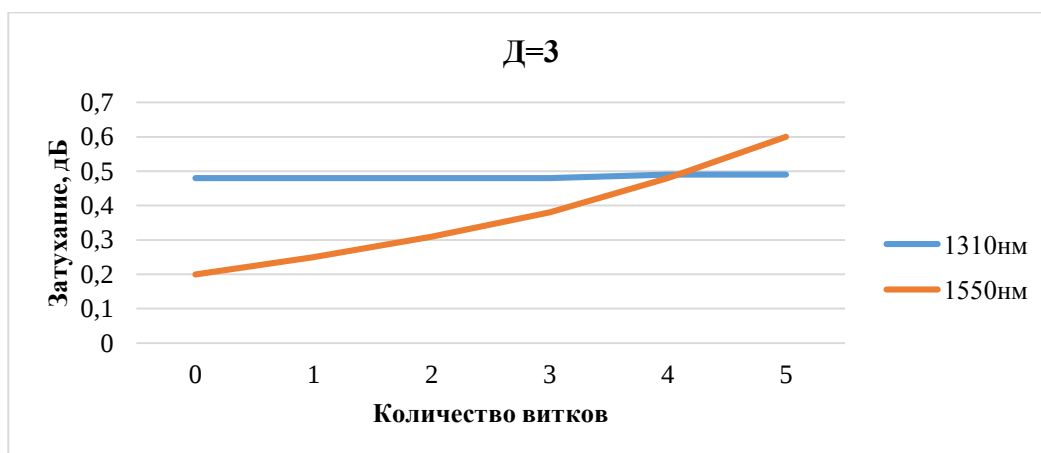


Рисунок 1.23 – Зависимость потерь мощности от количества изгибов, с диаметром равным 30 мм.

Из графиков видно, что затухание оптического волокна растёт с увеличением количества витков, где образуются макроизгибы. Чем меньше диаметр изгиба, тем больше потери на выходе сигнала, а также, чем больше длина волны, тем больше потери.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы по изучению вопроса влияния внешних факторов на характеристики передачи сигнала по оптическому волокну была изучена научная литература и электронные ресурсы.

На основе литературных данных по выявлению факторов, влияющих на качество передачи сигнала по оптическому волокну, разработана классификация внешних факторов. Более подробно произведен анализ механического воздействия, как основного фактора, влияющего на потери энергии в оптическом волокне.

Рассмотрены способы минимизации воздействий внешних факторов, а также, способы обнаружения несанкционированного обнаружения подключений к оптическому волокну.

Экспериментальное исследование проводилось за счет влияния макроизгибов на увеличение потерь в оптических волокнах. Руководствуясь полученными в ходе эксперимента данными результатам можно заключить следующее:

1. Увеличение числа витков на барабанах увеличивает уровень затухания, а мощность сигнала уменьшает. Диаметры барабанов, также оказывают влияние на данные, чем больше диаметр барабана, тем меньше наблюдается затухание. Показания затухания длины волны 1310 нм выше показаний затухания длины волны 1550 нм.

2. Зависимости потерь мощности от количества изгибов линейны. Таким образом, экспериментально доказано, что механическое воздействие отрицательно влияет на качество сигнала, при этом увеличиваются потери энергии и затухания в оптическом волокне.

Таким образом, доказано значительное влияние макроизгибов на передаточные характеристики оптического волокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. PhysicEdu, Рефераты по Физике, Реконструкция волоконно-оптической линии связи, страница 14. [Электронный ресурс]: <http://www.physicedu.ru/phy-1252.html>
2. Выпускная квалификационная работа студента Е.С. Симачева по теме: “Исследование влияния внешних факторов на передаточные параметры оптического волокна”, Новосибирск 2016 г.
3. Микроизгиб оптического волокна и улучшение конструкции оптического волокна, автор Мария Степановна, [Электронный ресурс]: <http://ockc.ru/?p=11249>
4. «Fibre bends threaten superhighway traffic»; FibreSystems, pp. 31–32; Nov. 1999.
5. Stroi-t, Введение в волоконно-оптические кабели. Часть 3, [Электронный ресурс]: <http://www.stroi-tk.ru/info/articles/vols-stat1/vvok/vvok3/>
6. Коханенко А.П. Волоконно-оптические линии связи. Физические основы работы оптических волокон: учебно-методическое пособие / А.П. Коханенко. – Томск: Издательский дом ТГУ, 2013. – 64 с.
7. Дяченко А.А. Влияние температуры на оптические характеристики световодов на основе кварцевое стекло – полимер / А.А. Дяченко, Ю. С. Милявский // Квантовая электроника. – 1980. – № 5. – С. 1118-1120.
8. Митрохин В.Е. Физическое моделирование магнитооптического эффекта и влияния температуры на оптическое волокно и места его соединения / В.Е. Митрохин, А.В. Тараскин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2013. – №1.
9. Кузнецов А.Ю. Улучшение оптических свойств кабелей с центральным оптическим модулем: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.09.02/Кузнецов Анатолий Юрьевич. – М., 2010. – 20 с.
10. Колесников В.А. Прокладка оптического кабеля в телефонную канализацию из полиэтилена / В.А. Колесников, А.Л. Зубилевич // T-Comm. – 2012. – №6. – С. 28-29.

11. Соколов С.А. Защита магистральных оптических линий связи от электромагнитных полей / С.А. Соколов // Технологии и средства связи. – 2006. - №3. – с.86-88.
12. Соколов С. Воздействие внешних электромагнитных полей на полностью диэлектрические оптические кабели / С. Соколов // Первая миля. – 2013. – № 3. – С. 68-72.
13. Афанасьев А.Н. Исследование оптического пропускания кварцевого волокна при воздействии гамма-нейтронного поля импульсного ядерного реактора / А.Н. Афанасьев // Известия Челябинского научного центра. – 2004. – № 22. – С. 62-66.
14. Долгов И.И. О стойкости отечественных оптических волокон к воздействию ионизирующего излучения / И.И. Долгов // Наука и техника. – 2007. – № 2. – С. 10-18.
15. МСЭ-Т G.652 Характеристики оптического волокна и кабеля. – Женева: 2005. – 22 с.
16. МСЭ-Т G.653 Характеристики оптического волокна и кабеля со сдвигом дисперсии. – Женева: 2007. – 22 с.
17. МСЭ-Т G.657 Характеристики оптического волокна и кабеля, не чувствительного к потерям на макроизгибе, для использования в сетях доступа. – Женева: 2007. – 20 с.
18. ГОСТ Р МЭК 794-1-93 Кабели оптические. Общие технические требования. – М.: Госстандарт России, 1994. – 34 с.
19. ГОСТ Р 52266-2004 Кабельные изделия. Кабели оптические. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 19 с.
20. Никоноров Н.В. Материалы и технологии волоконной оптики: учебное пособие / Н.В. Никоноров, А.В. Сидоров. – СПб.: ИТМО, 2009. – 134 с.
21. Оптическое волокно // Официальный портал компании Corning Incorporated
22. ГОСТ 30630.2.1-2013 Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других

технических изделий. Испытания на устойчивость к воздействию температуры. – М.: Стандартиформ, 2014. – 31 с.

23.Оптические кабели // Официальный портал компании OFS

24.ВОЛС на воздушных линиях электропередачи // Медиахолдинг
Русскийкабель.

25.Саранскабель - оптика продукция // Официальный портал производителя
волоконно-оптического кабеля.

Отчет о проверке на заимствования №1



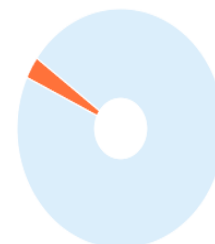
Автор: Уванчиков Денис duvanchilov1998@icloud.com / ID: 8681696
Проверяющий: Уванчиков Денис (duvanchilov1998@icloud.com / ID: 8681696)
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»- <http://users.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 7
Начало загрузки: 04.02.2021 22:41:03
Длительность загрузки: 00:00:02
Имя исходного файла: диплом
Д.Ю.Уванчиков 759 08.02.2021.pdf
Название документа: диплом
Д.Ю.Уванчиков 759 08.02.2021
Размер текста: 77 кБ
Символов в тексте: 78855
Слов в тексте: 13655
Число предложений: 522

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Последний готовый отчет (ред.)
Начало проверки: 04.02.2021 22:41:06
Длительность проверки: 00:00:09
Комментарии: не указано
Модули поиска: Модуль поиска Интернет



ЗАИМСТВОВАНИЯ

2,7%

САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

ЦИТИРОВАНИЯ

0%

ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

97,3%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.

Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.

Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.

Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Источник	Ссылка	Актуален на	Модуль поиска
[01]	1,47%	Исследование влияния внешних факторов на передаточные параметры оптического волокна	https://stud.wiki	13 Июл 2020	Модуль поиска Интернет
[02]	0%	Исследование влияния внешних факторов на передаточные параметры оптического волокна	https://knowledge.allbest.ru	19 Июн 2019	Модуль поиска Интернет
[03]	0,44%	Matthijse P., Kuyt G. Влияние изгибов оптических волокон на их характеристики	http://kp-info.ru	17 Окт 2014	Модуль поиска Интернет

Еще источников: 8

Еще заимствований: 0,78%

Рецензия
на дипломную работу студента 759 гр.
радиофизического факультета Уванчикова Дениса Юрьевича
“ Исследование влияния внешних факторов на характеристики передачи
сигнала по оптическому волокну”

В настоящее время телекоммуникационная индустрия подвергается беспрецедентным преобразованиям. Значительные изменения совершаются в системах передачи данных. Благодаря этим изменениям происходит активное развитие интернет технологий и всевозможных сетевых приложений.

Сегодня исследование и разработка в области цифровой связи по оптическим кабелям представляет собой одно из важнейших направлений научно-технического прогресса. Однако, в процессе монтажа и эксплуатации оптоволоконных кабелей могут возникать различные проблемы, влияющие на качество передачи сигнала.

На качество передачи сигнала по оптическому волокну могут влиять различные внешние и внутренние факторы, такие как механические воздействия, химический состав, особенности изготовления, воздействие низких температур и т.д. Поэтому тщательный анализ этих факторов и выработка стратегии их минимизации является актуальной инженерной задачей. Знакомство с данными методами совершенно необходимо для специалистов, работающих в области связи.

В работе Д.Ю. Уванчикова проведен литературный обзор и подробно рассмотрены внешние и внутренние факторы, влияющие на качество передачи сигнала по ОВ, составлена их классификация. Также представлены и проанализированы данные ГОСТ по степени влияния каждого фактора и способы их минимизации. Экспериментально доказано влияние макроизгибов на уровень мощности сигнала, передаваемого по ОВ.

К замечаниям по работе можно отнести:

- Недостаточно подробный анализ основных внутренних факторов определяющих качество передачи сигнала по ОВ;
- ряд замеченных ошибок орфографического и стилистического характера.

В целом дипломная работа Уванчикова Дениса Юрьевича соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным работам по специальности 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, заслуживает оценки “хорошо”.

Старший научный сотрудник ИС



Бакшт Е.Х.