

УДК 621.383.92

Волоконно-оптический одномодовый аттенюатор на основе макроизгибов

А.О. ЗЕНЕВИЧ,
доктор технических наук, профессор, ректор

Г.В. ВАСИЛЕВСКИЙ,
заведующий лабораторией

Е.В. НОВИКОВ,
кандидат технических наук, доцент,
директор Института современных технологий связи

Т.М. ЛУКАШИК,
преподаватель

УО «Белорусская государственная академия связи»

А.А. ЛАГУТИК,
младший научный сотрудник ОАО «Гипросвязь»

Предложен волоконно-оптический аттенюатор, основанный на использовании эффекта макроизгиба оптического волокна. Оценены возможности применения в данном устройстве различных типов оптических волокон. Определены длины волн оптического излучения, на которых волоконно-оптический аттенюатор функционирует наиболее эффективно. Установлен диапазон коэффициентов затухания, реализуемый волоконно-оптическим аттенюатором при использовании оптических волокон разных типов.

Ключевые слова: оптическое волокно, макроизгиб, коэффициент затухания.

Введение. В настоящее время в волоконно-оптической связи и других приложениях волоконной оптики находят широкое применение волоконно-оптические аттенюаторы. Они используются для наладки, пуска, эксплуатации и профилактических измерений параметров волоконно-оптических линий связи, а также в измерительных приборах для таких линий [1].

В оптических линиях связи в настоящее время используются волоконно-оптические аттенюаторы на основе пленки из окиси хрома, покрывающего один конец оптического волокна соединения, с которым соприкасается смежное волокно [2].

Также применяются волоконно-оптические аттенюаторы, оптическое затухание в которых осуществляется за счет изменения оптических свойств среды распространения оптического излучения. В качестве таких сред могут быть использованы органические вещества типа желатинового фильтра. Кроме того, используются аттенюаторы,

в которых потери оптического излучения вносятся разъюстировкой приемной и передающей апертур [3].

Однако данные аттенюаторы имеют следующие недостатки: подверженность вибрациям, повышенные требования к точной установке конструктивных элементов, сложность изготовления.

В волоконной оптике применяется регулируемый оптический аттенюатор, в котором оптическое излучение ослабляется жидкой кристаллической пленкой путем изменения величины электрического поля вокруг жидкого кристалла [2]. Если такой аттенюатор расположить вблизи лазера, то отраженное от него излучение может отрицательно повлиять на работу последнего. Более того, аттенюатор не является достаточно надежным в использовании.

В некоторых случаях в волоконно-оптических линиях связи используются аттенюаторы на основе микроизгибов, которые создаются сдавливанием

оптического волокна между двумя пластинами, скрепленными подвижным элементом [1]. Такой аттенуатор имеет малый срок службы.

Наиболее просто реализуемыми волоконно-оптическими аттенуаторами являются аттенуаторы на основе макроизгибов оптического волокна. Однако в настоящее время отсутствуют сведения о возможности использования одномодовых оптических волокон различных типов для создания таких аттенуаторов. Не определены длины волн оптического излучения, для которых могут быть использованы волоконно-оптические аттенуаторы на основе макроизгибов одномодового волокна.

Поэтому целью данной работы является разработка волоконно-оптического аттенуатора на основе макроизгибов и определение основных характеристик этого аттенуатора – диапазонов рабочих длин волн и коэффициента затухания.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента. В качестве объектов исследования выступают серийно выпускаемые одномодовые оптические волокна G652A и G655A, которые достаточно часто используются для производства оптического кабеля в Республике Беларусь и обладают достаточно хорошей восприимчивостью к макроизгибам [4, 5]. Под восприимчивостью понимается способность оптического волокна реагировать на появление макроизгиба. В данном случае реакцией на макроизгиб будет считаться изменение коэффициента затухания оптического излучения в волокне.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1.

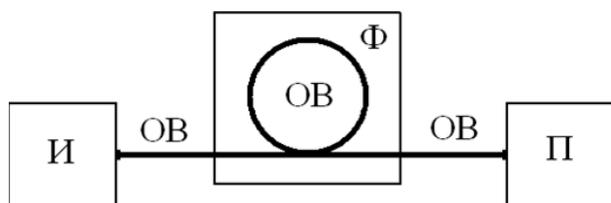


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки
И – источник оптического излучения, П – приемник оптического излучения, Ф – формирователь макроизгиба, ОВ – оптическое волокно

Экспериментальная установка функционирует следующим образом. Оптическое излучение от источника оптического излучения И подается в оптическое волокно ОВ длиной 500 м. Мощность оптического излучения на выходе источника И составляет 1 мВт. Длина волны оптического излучения изменяется дискретным образом и может

принимать следующие значения: 850 нм, 1310 нм, 1490 нм, 1550 нм и 1625 нм. Данные длины волн соответствуют окнам прозрачности оптических волокон [6].

При помощи формирователя макроизгиба Ф создается изгиб оптического волокна ОВ. Диаметр макроизгиба мог изменяться в пределах от 5 до 60 мм. Отметим, что при диаметре менее 5 мм может наступить излом оптического волокна.

Выход оптического волокна ОВ соединяется с приемником оптического излучения П, который измеряет мощность оптического излучения. Диапазон измерения мощностей составлял $10^2 \div 10^{13}$ Вт.

Коэффициент затухания α в оптическом волокне с макроизгибом определялся по следующей формуле:

$$\alpha = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}} \right), \quad (1)$$

где $P_{\text{вх}}$ – мощность оптического излучения на входе оптического волокна, $P_{\text{вых}}$ – мощность оптического излучения на выходе оптического волокна.

Для определения значения коэффициента затухания α_m , вносимого макроизгибом оптического волокна, применяется следующая формула:

$$\alpha_m = \alpha - \alpha_0, \quad (2)$$

где α_0 – коэффициент затухания оптического волокна без макроизгиба.

Измерения проводились при постоянной температуре 300 К.

Результаты измерений и их обсуждение. Данные о величине коэффициента затухания оптического излучения α в волокне без макроизгиба и при наличии макроизгиба с диаметром 10 мм для различных волн оптического излучения представлены в таблице 1. Достаточно большое затухание соответствует длине волны 850 нм. Данная длина волны относится к первому окну прозрачности оптического волокна [6]. Наименьшее значение величины затухания оптического излучения в волокне соответствовало длине волны излучения 1550 нм для

Таблица 1 – Данные о коэффициенте затухания оптического излучения в волокне

| Длина волны, нм | Коэффициент затухания α , дБм | | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 850 | 1310 | 1490 | 1550 | 1625 |
| Диаметр макроизгиба, мм | | | | | |
| Оптическое волокно G652A | | | | | |
| Без макроизгиба | 4,30 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,18 |
| 10 | 5,50 | 2,30 | 10,60 | 19,80 | 22,80 |
| Оптическое волокно G655A | | | | | |
| Без макроизгиба | 7,20 | 0,20 | 0,18 | 0,08 | 0,20 |
| 10 | 7,70 | 35,10 | 47,50 | 53,80 | 59,40 |

всех марок исследуемых оптических волокон без макроизгибов.

При наличии макроизгиба значение α_m возрастает с увеличением длины волны оптического излучения. Для всех исследуемых длин волн величина α_m для оптического волокна G652A была больше, чем для G655A. Максимальное значение $\alpha_m = 22,62$ дБм при диаметре изгиба 10 мм соответствовало 1625 нм для оптического волокна G652A, и $\alpha_m = 59,2$ дБм – для волокна G655A.

Зависимости коэффициента затухания оптического излучения в оптическом волокне α от диаметра макроизгиба d_m имели экспоненциальный вид для всех длин волн оптического излучения. На рис. 2 представлены типичные зависимости коэффициента затухания α от величины d_m для исследуемых оптических волокон. Отметим, что макроизгиб с диаметром $d_m \leq 25$ мм для оптического волокна G655A начинает приводить к увеличению коэффициента затухания α по сравнению с его отсутствием, а для волокна G652A этот эффект проявляется при $d_m \leq 22$ мм. Для исследуемых длин волн в интервале $d_m = 5 \div 25$ мм значение α для волокна G652A меньше, чем для волокна марки G655A при наличии у них макроизгибов одинаковых диаметров.

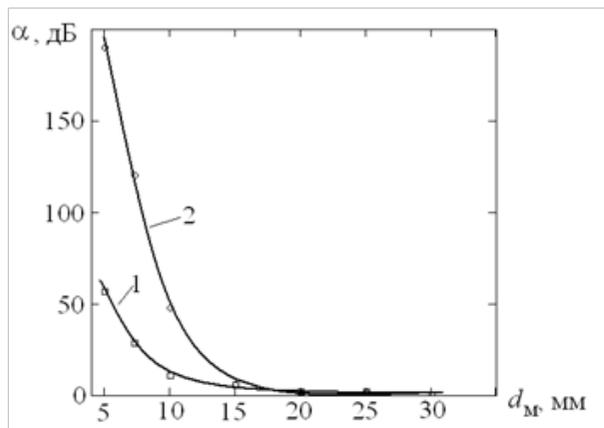


Рисунок 2 – Типовые зависимости коэффициента затухания оптического излучения в оптическом волокне от диаметра макроизгиба
1 – оптическое волокно G652A, 2 – оптическое волокно G655A

При $d_m \leq 10$ мм для оптического волокна G655A оптическое излучение с длинами волн 1550 нм и 1625 нм прекращало свое распространение в волокне. Для волокна G652A при этих длинах волн оптическое излучение прекращало свое распространение при $d_m \leq 5$ мм.

Для оценки восприимчивости оптического волокна к механическому воздействию, вызванному его макроизгибом, используется величина d_m , для которой наблюдается увеличение значения α в 100

Таблица 2 – Диаметры макроизгиба оптического волокна при увеличении значения α в 100 раз

| Длина волны, нм | 850 | 1310 | 1490 | 1550 | 1625 |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|
| Оптическое волокно G652A | | | | | |
| Диаметр d_0 , мм | – | 12 | 13 | 15 | 18 |
| Крутизна S , дБ/виток | 0,5 | 0,6 | 3,0 | 3,4 | 5,1 |
| Оптическое волокно G655A | | | | | |
| Диаметр d_0 , мм | – | 18 | 21 | 22 | 23 |
| Крутизна S , дБ/виток | 0,5 | 3,2 | 5,3 | 5,7 | 9,2 |

раз по сравнению с отсутствием макроизгиба волокна. Обозначим данную величину как d_0 . Сведения о d_0 для исследуемых волокон и различных длин волн оптического излучения представлены в табл. 2.

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что в исследуемых диапазонах диаметра макроизгибов для длины волны оптического излучения 850 нм для всех типов волокна диаметр d_0 не мог быть определен, т. к. величина α изменялась менее чем в 100 раз. Дальнейшее увеличение длины волны приводило к росту значения d_0 . С увеличением длины волны растет восприимчивость волокна к механическому воздействию, вызванному его макроизгибом. Это можно объяснить тем, что в изогнутой части оптического волокна центр модового пятна смещается относительно его оси на некоторую величину x , которая зависит от диаметра макроизгиба волокна. В месте перехода прямой части волокна в изогнутую происходит смещение модового пятна, и в результате только часть мощности моды сердцевинной прямой части оптического волокна передается в сердцевину изогнутой части, а другая часть этой мощности переходит в моду оболочки и в конечном счете теряется. Величина смещения x зависит от диаметра модового пятна и растет с увеличением длины волны. Так как диаметр модового пятна тем меньше, чем короче длина волны оптического излучения [7], с ростом длины волны увеличивается та часть мощности моды сердцевинной, которая переходит в оболочку. Наибольшая восприимчивость к макроизгибу для длин волн диапазона 1310÷1625 нм соответствует оптическому волокну G655A.

Отметим, что при постоянном значении диаметра макроизгиба для всех исследуемых волокон наблюдалась линейная зависимость между величиной коэффициента затухания α и количеством витков этого макроизгиба N . Для оценки того, насколько сильно зависит коэффициент затухания оптического излучения в волокне от числа витков макроизгиба, введем понятие крутизны $S = \Delta\alpha / \Delta N$, где $\Delta\alpha$ – изменение коэффициента затухания α , ΔN – изменение числа витков.

Значение крутизны S для $d_m = 15$ мм представлено в табл. 2. Увеличение длины волны оптического излучения приводит к росту S . Отметим, что наиболее сильная зависимость α от N наблюдалось для длины волны 1625 нм.

Для постоянного числа витков макроизгиба величина S зависела от значения d_m . Данная зависимость представлена на рис. 3 для длины волны 1310 нм. Данная длина волны позволяет выполнить исследования зависимости S от d_m для всего диапазона диаметров макроизгибов, а также достаточно часто используется для передачи данных в одномодовом оптическом волокне [2, 6].

Для длин волн больше 1310 нм не удалось выполнить оценку S для $d_m \geq 10$ мм и $N \geq 2$ витков. Это связано с тем, что оптическое излучение прекращало свое распространение в волокне.

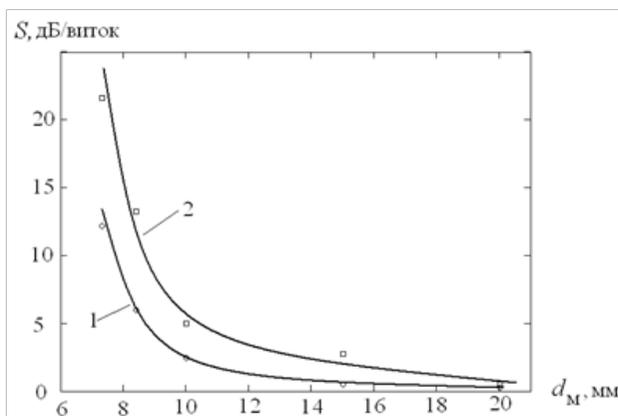


Рисунок 3 – Зависимости крутизны от диаметра макроизгиба оптического волокна для длины волны 1310 нм
1 – оптическое волокно G652A, 2 – оптическое волокно G655A

Отметим, что уменьшение диаметра макроизгиба приводило к увеличению крутизны. Зависимость S от d_m имела экспоненциальный вид для всех марок изучаемых оптических волокон. В исследуемом диапазоне диаметров макроизгибов значение S для оптического волокна G655A было больше значений крутизны для волокна G652A. Минимальное значение диаметра макроизгиба, при котором производилось измерение S , составляло $d_m = 7,3$ мм. При этом значение крутизны принимало значение $S = 12$ дБ/виток для оптического волокна G652A и $S = 22$ дБ/виток – для G655A. Уменьшение крутизны в e раз по сравнению с этими значениями соответствовало $d_m = 9,1$ мм для оптического волокна G652A и $d_m = 8,3$ мм – для G655A. Это также подтверждает, что оптическое волокно G655A является более восприимчивыми к механическому воздействию, вызванному его макроизгибом, чем волокно G652A.

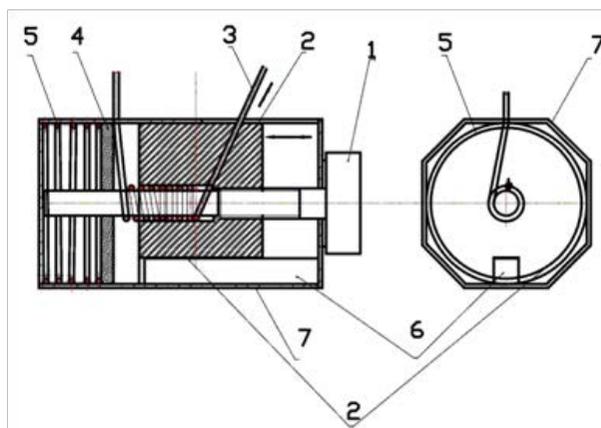


Рисунок 4 – Конструкция одномодового волоконно-оптического аттенюатора

1 – винт, 2 – направляющая оптического волокна, 3 – оптическое волокно, 4 – упор, 5 – пружина, 6 – штифт, 7 – корпус

Устройство одномодового волоконно-оптического аттенюатора. На основании проведенных исследований зависимости затухания излучения в оптическом волокне от диаметра макроизгиба и количества витков последнего была предложена конструкция одномодового волоконно-оптического аттенюатора (рис. 4).

Аттенюатор функционирует следующим образом. Оптическое волокно 3, проходя через направляющую 2, наматывается на вал винта 1. Направляющая 2 движется по валу винта 1 по резьбе при поворачивании головки винта. В верхней части корпуса предусмотрен паз для свободного перемещения волокна. Нижняя часть направляющей выполнена в виде фигурного обхвата вала с обмоткой из оптического волокна для его плотной укладки. Штифт 6 не позволяет направляющей 2 проворачиваться. Пружина 5 поджимает упор 4, уплотняя витки волокна.

Таким образом, при вращении вала винта 1 меняется количество витков волокна на валу.

Таблица 3 – Характеристики одномодового волоконно-оптического аттенюатора

| Марка оптического волокна | Длина волны оптического излучения, нм | Начальные оптические потери*, дБ | Динамический диапазон, дБ | Погрешность установки заданного затухания, % |
|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--|
| G652A | 1310 | ≥ 0,1 | 0,1÷14 | ≥ 10 |
| | 1490 | | 0,1÷72 | |
| | 1550 | | 0,1÷81 | |
| | 1625 | | 0,1÷120 | |
| G655A | 1310 | ≥ 0,1 | 0,1÷42 | ≥ 10 |
| | 1490 | | 0,1÷69 | |
| | 1550 | | 0,1÷74 | |
| | 1625 | | 0,1÷120 | |

*Примечание: начальные оптические потери приведены для случая подключения аттенюатора к оптическому волокну при помощи сварки.

Результатом этого является изменение вносимого аттенуатором затухания оптического излучения.

Согласно работе [1] основными характеристиками одномодового волоконно-оптического аттенуатора являются начальные оптические потери, динамический диапазон, а также погрешность установки заданного затухания.

Начальные оптические потери в данной конструкции в основном определяются затуханием на сварном соединении и не должны превышать 0,2 дБ при подключении аттенуатора к оптическому волокну при помощи сварки. В случае использования для подключения коннекторов типа FC данные потери могут достигать 1,2 дБ, а при применении коннекторов типа SC – 0,5 дБ.

Диаметр вала винта составлял 15 мм. Максимальное затухание в оптическом волокне α_{max} , при котором прекращается передача данных, составляет 120 дБ. Поэтому данная величина была принята за максимальное значение затухания в оптическом волокне, которое обеспечивает аттенуатор. Максимальное значение крутизны S_{max} соответствует длине волны оптического излучения 1625 нм. По значениям α_{max} и

S_{max} определяется количество витков макроизгиба аттенуатора.

В табл. 3 представлены характеристики предлагаемого одномодового волоконно-оптического аттенуатора при использовании в нем оптических волокон G652A и G655A.

Заключение. В процессе проведенных исследований выяснено, что при наличии макроизгиба значение коэффициента затухания возрастает с увеличением длины волны оптического излучения. Зависимости коэффициента затухания оптического излучения в оптическом волокне от диаметра макроизгиба имели экспоненциальный вид для всех длин волн оптического излучения.

Определено, что при постоянном значении диаметра макроизгиба для всех марок исследуемых волокон наблюдалась линейная зависимость между величиной коэффициента затухания и числом витков макроизгиба.

На основании проведенных исследований предложена конструкция одномодового волоконно-оптического аттенуатора.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Т18А3 – 014).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутусов, М. М. Волоконная оптика и приборостроение / М. М. Бутусов, С.Л. Галкин, С.П. Оробинский, Б.П. Пал. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 328 с.
2. Волоконно-оптический аттенуатор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/202/2024039>. – Дата доступа: 05.04.2019.
3. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы / Сб. статей под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. – М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. – 576 с.
4. Рекомендация МСЭ-Т G652. Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля. – Женева, 2005.
5. Рекомендации МСЭ-Т G657. Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля, не чувствительного к потерям на изгибе. – Женева, 2017.
6. Гладков, Л.Л. Физические основы электроники/ Л.Л. Гладков, И.Р. Гулаков, А.О. Зеневич – Минск.: Белорусская государственная академия связи, 2017. – 227 с.
7. Листвин, А.В. Оптические волокна для линий связи / А.В.Листвин, В.Н.Листвин, Д.В.Швырков – М.: ЛЕСАРпт, 2003. – 107 с.

A device for fiber optic attenuator based on macrobends is proposed. An assessment was made of the possibility of using various types of optical fiber for this device. The wavelengths of optical radiation for which a fiber-optic attenuator can be used are determined. The range of attenuation coefficients for a fiber-optic attenuator using different types of optical fibers is established.

Получено 04.05.2019.