

УДК 621.395: 621.372

## ОПТИЧЕСКИЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ИЗГИБА ОДНОМОДОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

DOI 10.36994/2788-5518-2021-02-02-02

**Зеневич А.О.**, д.т.н., проф. Белорусская Государственная Академия связи, Минск, Республика Беларусь. a.zenevich@bsac.by

**Жданович С.В.**, к.т.н., доц. Белорусская Государственная Академия связи, Минск, Республика Беларусь. zsvzsv@tut.by

**Коваленко Т.Г.** Белорусская Государственная Академия связи, Минск. Республика Беларусь. tgkov@yandex.by

**Лукашик Т.М.** Белорусская Государственная Академия связи, Минск. Республика Беларусь. zeltko@tut.by

**Мансуров Т.М.**, д.т.н., проф. Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан tofiq-mansurov@rambler.ru

**Аннотация.** В связи с развитием волоконно-оптической техники и полностью оптических сетей разработка оптических переключателей является актуальной задачей. При этом важно использование технологий создания систем без преобразования оптического сигнала в электрический сигнал и обратно.

Целью данной работы является определение возможности применения изгибов оптического волокна для создания оптических переключателей.

Для проведения исследований была разработана экспериментальная установка, позволяющая определять величину потерь мощности оптического излучения, вносимых изгибом оптического волокна.

В качестве объекта исследования в данной статье использовались одномодовые оптические волокна G652, G655 и G657, которые находят широкое применение для передачи информации в современных волоконно-оптических линиях связи.

Получено, что для оптического волокна G652 и G655 при длинах волн оптического излучения 1310, 1490, 1550, 1625 нм, а для оптического волокна G657 при длине волны - 1625 нм, существуют радиусы изгиба оптического волокна, при которых наблюдается практически полное ослабление мощности оптического излучения (более 80 дБ). Определено, что значение радиуса изгиба, для которого наблюдается практически полное ослабление мощности оптического излучения мощностью 1 мВт, зависит от типа оптического волокна. Для исследуемых типов оптических волокон наибольшее значение такого радиуса наблюдалось для волокна G655 при всех длинах волн.

Предложено устройство оптического переключателя на основе изгибов оптического волокна и представлены его характеристики. Также установлено, что в таком оптическом переключателе целесообразно использовать оптические волокна G652 и G655.

*Результаты, полученные в этой статье, могут найти применение при разработке компонентов для волоконно-оптических систем передачи данных.*

**Ключевые слова:** оптическая сеть, оптическое волокно, изгиб оптического волокна, оптический переключатель.

## **OPTICAL SWITCH BASED ON THE BENDING OF SINGLE MODE OPTICAL FIBER**

**Andrei Zenevich**, Dr habil, Prof. Belarusian State Academy of Communications, Minsk, Belarus. a.zenevich@bsac.by

**Sergei Zdanovich**, Ph.D., Ass.Prof. Belarusian State Academy of Communications, Minsk, Belarus. zsvzsv@tut.by

**Tatiana Kovalenko**. Belarusian State Academy of Communications, Minsk, Belarus. tgkov@yandex.by

**Tatiana Lukashik**. Belarusian State Academy of Communications, Minsk, Republic of Belarus. zeltko@tut.by

**Tofiq Mansurov**, Dr habil, Prof. Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan. tofiq-mansurov@rambler.ru

**Abstract.** Due to the development of fiber optic technology and all-optical networks the development of optical switches is an urgent task. At the same time, it is important the use of technologies for creating systems without converting an optical signal into an electrical signal and vice versa. The purpose of this work is to determine the possibility of using optical fiber bends to create optical switches.

To carry out the research, an experimental setup was developed that makes it possible to determine the magnitude of optical radiation losses introduced by bending of an optical fiber.

As an object of research, single-mode optical fibers G652, G655 and G65 were used in this article, which are widely applied for information transmission in modern fiber-optic communication lines.

It was found that for optical fiber G652 and G655 at wavelengths of optical radiation of 1310, 1490, 1550, 1650 nm, and for optical fiber G657 at a wavelength of 1650 nm, there are bending radii of the optical fiber at which practically complete attenuation of optical radiation is observed (more than 80 dB). It has been determined that the value of the bend radius for which a practically complete attenuation of optical radiation with a power of 1 mW is observed depends on the type of optical fiber.

For types of optical fibers being under the study, the largest value of this radius was observed for the G655 fiber at all wavelengths. A device for an optical switch based on bends of an optical fiber is proposed and its characteristics are presented.

It has also been found that it is advisable to use optical fibers G652 and G655 in such an optical switch.

The results obtained in this article can find application in the development and creation of components for fiber-optic data transmission systems.

**Keywords:** optical network, optical fiber, optical fiber bending, optical switch.

## ОПТИЧНИЙ ПЕРЕМИКАЧ НА ОСНОВІ ВИГИБУ ОДНОМОДОВОГО ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА

**Зеневич А.О.**, д.т.н.,проф. Білоруська Державна Академія зв'язку, Мінськ, Республіка Білорусь. a.zenevich@bsac.by

**Жданович С.В.**, к.т.н.,доц. Білоруська Державна Академія зв'язку, Мінськ, Республіка Білорусь. zsvzsv@tut.by

**Коваленко Т.Г.** Білоруська Державна Академія зв'язку, Мінськ, Республіка Білорусь. tgkov@yandex.by

**Лукашик Т.М.** Білоруська Державна Академія зв'язку, Мінськ, Республіка Білорусь. zeltko@tut.by

**Мансуров Т.М.**, д.т.н.,проф. Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан. tofiq-mansurov@rambler.ru

**Анотація.** У зв'язку з розвитком волоконно-оптичної техніки і повністю оптичних мереж розробка оптичних перемикачів є актуальним завданням. При цьому важливо використання технологій створення систем без перетворення оптичного сигналу в електричний сигнал і назад.

Метою даної роботи є визначення можливості застосування вигинів оптичного волокна для створення оптичних перемикачів. Для проведення досліджень була розроблена експериментальна установка, що дозволяє визначити величину втрат потужності оптичного випромінювання, що вносяться вигином оптичного волокна. Як об'єкт дослідження в даній статті використовувалися одномодові оптичні волокна G652, G655 і G657, які знаходять широке застосування для передачі інформації в сучасних волоконно-оптичних лініях зв'язку. Отримано, що для оптичного волокна G652 і G655 при довжинах хвиль оптичного випромінювання 1310, 1490, 1550, 1625 нм, а для оптичного волокна G657 при довжині хвилі - 1625 нм, існують радіуси зги-ба опт оптичного випромінювання (понад 80 дБ). Визначено, що значення радіусу згину, для якого спостерігається повне ослаблення потужності оптичного випромінювання потужністю 1 мВт, залежить від типу оптичного волокна. Для дослідження типів оптичних волокон найбільше значення такого радіусу спостерігалось для волокна G655 за всіх довжин хвиль. Запропоновано пристрій оптичного перемикача на основі вигинів оптичного волокна та представлені його характеристики. Також встановлено, що в такому оптичному перемикачі доцільно використовувати оптичні волокна G652 і G655. Результати, отримані у цій статті, можуть знайти застосування при розробці компонентів для волоконно-оптичних систем передачі даних.

**Ключові слова:** оптична мережа, оптичне волокно, вигин оптичного волокна, оптичний перемикач.

### Введение

Перспективным направлением в области волоконно-оптической техники является использование технологий создания систем без преобразования оптического сигнала в электрический сигнал и обратно. В связи с этим, в последние годы получили развитие полностью оптические сети (All-optical Networks), в этих сетях процессы коммутации, мультиплексирования и ретрансляции основаны полностью на оптических технологиях [1]. Такие

оптические сети позволяют значительно увеличить скорость передачи информации по сравнению с эксплуатируемыми в настоящее время сетями. При построении полностью оптических сетей в качестве одного из пассивных компонентов используются оптические переключатели [2],[3]. Для осуществления процесса переключения в качестве рабочего органа оптического переключателя используются поворотные бипризмы, поворотные зеркала и подвижные оптические волокна [2],[4]. Однако, такие оптические переключатели достаточно сложны в реализации, поэтому необходимо разрабатывать более простые в изготовлении оптические переключатели. В представленной работе предлагается создание оптического переключателя на основе изгиба оптического волокна. На данный момент времени недостаточно исследованы возможности использования изгибов оптического волокна как основы для построения оптических переключателей, поэтому целью данной работы является определение возможности применения изгибов оптического волокна для создания оптических переключателей.

### **Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента**

На рис. 1 представлена структурная схема разработанной экспериментальной установки. Набор источников оптического излучения  $H$  состоит из полупроводниковых лазеров с длинами волн оптического излучения 1310, 1490, 1550 и 1625 нм. Все эти длины волн соответствуют окнам прозрачности одномодового оптического волокна и используются для передачи данных по таким оптическим волокнам [2]. Экспериментальная установка позволяет подключить каждый лазер из набора  $H$  с помощью одномодового оптического волокна  $OB1$  к аттенюатору  $A$ . Мощность источников оптического излучения (лазеров), используемых во время проведения эксперимента была в пределах  $6 \div 10$  мВт (в зависимости от длины волны). Аттенюатор  $A$  позволяет уменьшить мощность источника оптического излучения для каждого лазера из набора  $H$ . Мощность на выходе аттенюатора устанавливалась равной 1 мВт для всех источников оптического излучения.

С помощью одномодового оптического волокна  $OB2$  выход аттенюатора  $A$  соединен со входом оптоэлектронного преобразователя ОЭП. На оптическом волокне  $OB2$  установлен формирователь изгиба  $\Phi$ , который позволяет вносить ослабление мощности оптического излучения путем создания изгибов оптического волокна в виде окружности, радиус  $R$  который изменяется в пределах от 30,0 до 2,0 мм. Такое изменение радиуса выбрано потому, что при  $R \geq 30$  мм ослабление мощности оптического излучения не происходит, а для радиуса изгиба  $R < 2$  мм может произойти перелом.

С помощью одномодового оптического волокна  $OB2$  выход аттенюатора  $A$  соединен со входом оптоэлектронного преобразователя ОЭП. На оптическом волокне  $OB2$  установлен формирователь изгиба  $\Phi$ , который позволяет вносить ослабление мощности оптического излучения путем создания изгибов оптического волокна в виде окружности, радиус  $R$  который

изменяется в пределах от 30,0 до 2,0 мм. Такое изменение радиуса выбрано потому, что при  $R \geq 30$  мм ослабление мощности оптического излучения не происходит, а для радиуса изгиба  $R < 2$  мм может произойти перелом волокна ОВ2.

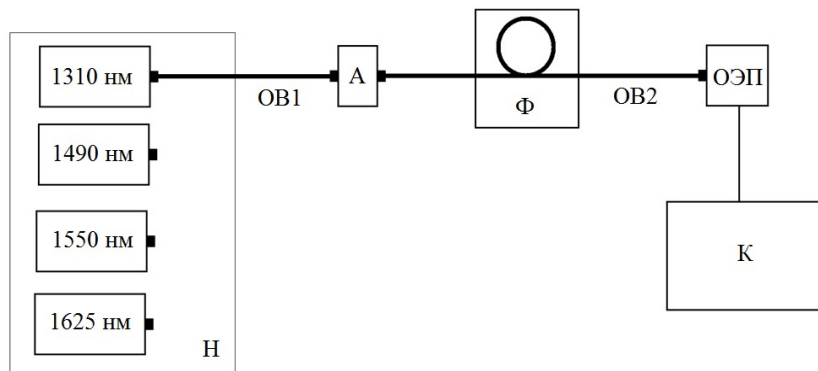


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки:

Н - набор источников оптического излучения; ОВ1 и ОВ2 - одномодовые оптические волокна; А - аттенюатор; Ф - формирователь изгиба; ОЭП - оптоэлектронный преобразователь; К - компьютер

Оптическое излучение с выхода оптического волокна ОВ2 поступает на оптоэлектронный преобразователь ОЭП. Оптоэлектронный преобразователь используется для преобразования оптического излучения в электрический сигнал, пропорциональный мощности оптического излучения. Этот сигнал передается в компьютер К. Компьютер используется для вычисления величины ослабления мощности оптического излучения, создаваемого формирователем изгиба, в оптическом волокне ОВ2. Во время проведения эксперимента длина оптических волокон ОВ1 и ОВ2 составляла 3,0 м, поэтому затухание мощности оптического излучения в этих оптических волокнах можно пренебречь в случае отсутствия изгиба. Величина ослабления мощности оптического излучения в оптическом волокне D вычислялась по следующей формуле:

$$D = 10 \lg \left( \frac{1 \text{ мВт}}{p_{\text{вых}}} \right), \quad (1)$$

где  $p_{\text{вых}}$  – мощность оптического излучения на выходе оптического волокна ОВ2 измеряемая в милливаттах.

Объектом исследования в данной работе являются одномодовые оптические волокна G652, G655 и G657, которые находят широкое применение для передачи информации в современных волоконно-оптических линиях связи.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с требованиями, определяемыми ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 [5], согласно которым условия окружающей среды были следующими: температура от 20 до 25 С0, влажность до 70%, атмосферное давление от 975 до 1025 гПа.

### Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований были получены зависимости ослабления мощности оптического излучения в оптическом волокне  $D$  от его радиуса изгиба  $R$  для различных типов оптического волокна. На рис. 2 представлены такие зависимости для длины волны оптического излучения 1310 нм. Отметим, что для других длин волн эти зависимости были аналогичными.

Как видно из полученных зависимостей уменьшение радиуса изгиба приводит к увеличению величины ослабления мощности оптического излучения в оптическом волокне  $D$ . Это связано с тем, что в изогнутой части оптического волокна центр модового пятна смещается относительно его оси на некоторую величину  $x$  которая зависит от радиуса изгиба. На месте перехода прямой части оптического 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 оболочку волокна и в конечном счете поглощается. Поэтому величина поглощаемой мощности зависит от диаметра модового пятна [2],[6]. Диаметр модового пятна становится больше с повышением значения длины волны оптического излучения [6], следовательно, увеличивается та часть мощности моды сердцевинной, которая переходит в оболочку. Также, на месте изгиба оптического волокна может изменяться показатель преломления сердцевинной оптического волокна, что приводит к отражению части оптического излучения в месте изменения показателя преломления.

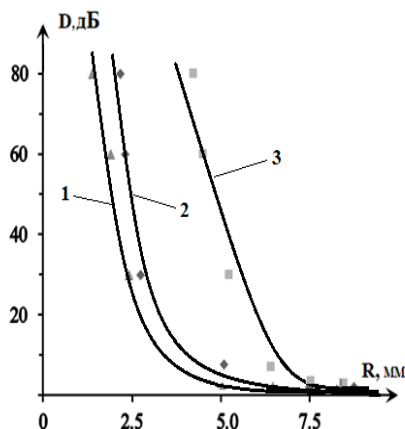


Рис. 2. Зависимость ослабления мощности оптического излучения в оптическом волокне от радиуса изгиба: 1 - оптическое волокно G657; 2 - оптическое волокно G652; 3 - оптическое волокно G655

Для различных типов оптического волокна необходимо сформировать различные радиусы изгиба  $R$  для того, чтобы получить одинаковую величину ослабления мощности оптического излучения  $D$ . Это связано с тем, что

исследуемые типы оптических волокон, имели разную структуру и разный диаметр сердцевины. Для каждого типа оптического волокна увеличение длины волны приводило к тому, что для создания ослабления мощности оптического излучения такого же, как и для меньших длин волн, требовалось сформировать изгиб с большим радиусом. Это подтверждается экспериментальными данными, представленными в табл. 1.

Для различных типов оптического волокна необходимо сформировать различные радиусы изгиба  $R$  для того, чтобы получить одинаковую величину ослабления мощности оптического излучения  $D$ . Это связано с тем, что исследуемые типы оптических волокон, имели разную структуру и разный диаметр сердцевины. Для каждого типа оптического волокна увеличение длины волны приводило к тому, что для создания ослабления мощности оптического излучения такого же, как и для меньших длин волн, требовалось сформировать изгиб с большим радиусом. Это подтверждается экспериментальными данными, представленными в табл. 1.

Таблица 1.  
Экспериментальные данные о величине  
радиуса изгиба оптического волокна для  
различных длин волн оптического излучения

| Тип<br>оптического<br>волокна | Длина<br>волны, нм | Радиус изгиба, мм                                           |                                                             |                                                             |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                               |                    | Ослабление<br>мощности<br>оптического<br>излучения<br>30 дБ | Ослабление<br>мощности<br>оптического<br>излучения<br>60 дБ | Ослабление<br>мощности<br>оптического<br>излучения<br>80 дБ |
| G652                          |                    | 2,7                                                         | 2,3                                                         | 2,2                                                         |
|                               | 1490               | 3,4                                                         | 2,7                                                         | 2,5                                                         |
|                               | 1550               | 3,8                                                         | 3,0                                                         | 2,8                                                         |
|                               | 1625               | 4,0                                                         | 3,1                                                         | 2,8                                                         |
| G655                          | 1310               | 5,2                                                         | 4,5                                                         | 4,2                                                         |
|                               | 1490               | 5,6                                                         | 5,0                                                         | 4,7                                                         |
|                               | 1550               | 5,9                                                         | 5,0                                                         | 4,7                                                         |
|                               | 1625               | 6,5                                                         | 5,2                                                         | 4,8                                                         |
| G657                          | 1310               | 2,4                                                         | менее 2                                                     | менее 2                                                     |
|                               | 1490               | 2,5                                                         | менее 2                                                     | менее 2                                                     |
|                               | 1550               | 3,0                                                         | менее 2                                                     | менее 2                                                     |
|                               | 1625               | 3,3                                                         | 2,4                                                         | 2,2                                                         |

### Оптический переключатель

Структурная схема предлагаемого оптического переключателя, имеющего четыре канала переключения, представлена на рис. 3.

При поступлении сигнала от блока управления БУ на управляющий вход формирователя изгиба оптического волокна Ф1 - Ф4 создается изгиб оптического волокна такого радиуса, что оптическое излучение далее не может распространяться по этому волокну. Сигнал от блока управления может подаваться на управляющий вход одного или нескольких формирователей изгиба. Как было показано ранее, возможно создать изгиб такого радиуса, при котором оптическое излучение прекратит почти полностью свое распространение по одному или нескольким оптическим волокнам ОВ1 - ОВ4.

Таким образом, формирователи изгиба оптического волокна Ф1, Ф2, Ф3 и Ф4 позволяют управлять мощностью оптического излучения, поступающего на соответствующие выходы по оптическим волокнам ОВ1, ОВ2, ОВ3 и ОВ4.

В рассмотренном случае оптический переключатель позволяет переключить оптическое излучение, поступающее с оптического волокна ОВ0 на один или несколько выходов оптических волокон ОВ1 - ОВ4.

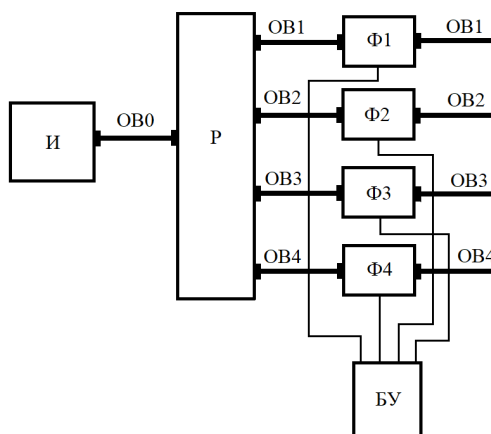


Рис. 3. Структурная схема оптического переключателя:  
Р - разветвитель; И - источник оптического излучения; ОВ0-ОВ4 - оптические волокна; Ф1-Ф4 - формирователи изгиба; БУ - блок управления

Рассмотрим вариант использования в качестве оптического соединителя разветвителя Р с равномерным делением мощности. При этом оптический переключатель функционирует следующим образом. По оптическому волокну ОВ0 от источника оптического излучения подается излучение на вход оптического разветвителя Р. В разветвителе оптическое излучение разделяется на четыре одинаковых по мощности части. Каждая из этих частей оптического излучения поступает на соответствующий выход разветвителя и по оптическим волокнам к формирователям изгиба оптических волокон Ф1, Ф2, Ф3 и Ф4.



Детализированная структура формирователя изгиба представлена на рис. 4. При подаче сигнала с блока управления БУ на входные клеммы формирователя изгиба 9 через магнитную катушку 6 начинает протекать электрический ток, что приводит к возникновению магнитного поля. Под воздействием магнитного поля стержень 8 перемещается по отверстию магнитной катушки 7 и сжимает пружину 10, закрепленную на опоре 11. Оптическое волокно 1 расположено и закреплено на фиксаторе 3. Планка 5 предназначена для формирования изгиба 2 оптического волокна 1 с заданным радиусом. Оптическое волокно прикреплено к стержню 8 с помощью крепления 4. При движении стержня 8 оптическое волокно перемещаются по направляющим планкам изгиба волокна 5. По окончании подачи сигнала с блока управления БУ протекание электрического тока через магнитную катушку 6 прекращается. При этом, исчезает воздействие магнитного поля на стержень 8. Пружина 10 разжимается и стержень 8 возвращается в исходное положение. В результате оптическое волокно принимает свое исходное положение без остаточных радиусов изгиба.

Если в оптическом переключателе вместо разветвителя Р применить оптический объединитель, то оптический переключатель позволяет передавать на выход оптического волокна ОВ0 оптическое излучение, поступающее на один или несколько входов оптических волокон ОВ1 - ОВ4.

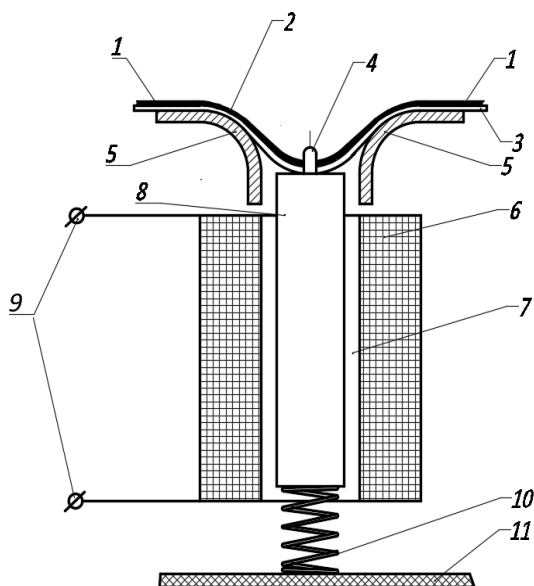


Рис. 4. Детализированная структура формирователя изгиба;

1 – оптическое волокно; 2 – участок оптического волокна с изгибом; 3 – фиксатор оптического волокна; 4 – крепление; 5 – направляющая планка изгиба оптоволокна; 6 – магнитная катушка; 7 – отверстие магнитной катушки; 8 – стержень; 9 – клеммы магнитной катушки; 10 – пружина; 11 – опора

Формирователь изгиба оптического волокна, который является основным элементом представленного оптического переключателя, должен обеспечить достаточное ослабление мощности оптического излучения. В соответствии с Рекомендациями МСЭ-R ВТ.1367-2 [7] для цифровой волоконно-оптической системы последовательной передачи сигналов максимальная выходная оптическая мощность блока передатчика для интерфейсов с пропускной способностью до 24 Гбит/с для линии связи высокой мощности (дальняя связь) +10 дБм, для линии связи средней мощности (связь средней дальности) +3 дБм, для маломощной линии связи (ближняя связь) - 3 дБм. Для этих линий связи минимальная мощность входного сигнала оптического приемника, в зависимости от пропускной способности линий связи составляет: - 20 дБм (270 Мбит/с ÷ 1,5 Гбит/с), - 17 дБм (3 Гбит/с), - 14 дБм (6 Гбит/с), - 14 дБм (12 Гбит/с), - 9 дБм (24 Гбит/с). Таким образом, при ослаблении мощности оптического излучения 30 дБ и более передача данных по любой из вышеперечисленных линий связи прекращается. При ослаблении оптической мощности 80 дБ можно утверждать, что оптическое излучение в линии связи практически отсутствует. Поэтому далее приведем полученные нами характеристики оптических переключателей, изготовленные на основе оптического волокна различных типов, именно с таким ослаблением мощности оптического излучения (табл. 2).

По полученным данным, приведенным в таблице 2, можно сделать вывод, что оптические переключатели с оптическими волокнами G652 и G655 целесообразно использовать при длинах волн оптического излучения 1310, 1490, 1550, 1625 нм. Оптический переключатель с волокном G657 можно применять только для длины волны 1625 нм. Отметим, что время переключения этих оптических переключателей было одинаковым и минимальное значение, которое нам удалось достичь, составило 0,1 с.

Таблица 2.  
Характеристики оптических переключателей

| Оптическое волокно | Длина волны, нм                 | Радиус изгиба, мм | Ослабление мощности оптического излучения, дБ | Минимальное время переключения, с |
|--------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|
| G652               | 1310,<br>1490,<br>1550,<br>1625 | 2,0               | 80                                            | 0,1                               |
| G655               | 1310,<br>1490,<br>1550,<br>1625 | 3,5               |                                               |                                   |
| G657               | 1625                            | 2,0               |                                               |                                   |

## Выводы

Получено, что для оптического волокна G652 и G655 при длинах волн оптического излучения 1310, 1490, 1550, 1625 нм, а для оптического волокна G657 при длине волны - 1625 нм, существуют радиусы изгиба оптического волокна, при которых наблюдается практически полное ослабление мощности оптического излучения (более 80 дБ).

Определено, что значение радиуса изгиба, для которого наблюдается практически полное ослабление мощности оптического излучения мощностью 1 мВт, для постоянной длины волны оптического излучения зависит от типа оптического волокна. Для исследуемых типов оптических волокон наибольшее значение такого радиуса наблюдалось для волокна G655 при всех длинах волн.

Предложено устройство оптического переключателя на основе изгибов оптического волокна и определены его характеристики.

## Литература

1. Магеррамов, В.А. Полностью оптические сети на основе Smart зеркал / В.А.Магеррамов. Научный журнал «Проблемы инфокоммуникации» Белорусской Государственной Академии Связи, № 1 (11). -Минск: Изд-во ООО «Поликрафт», 2020. -с.19-26.
2. Гулаков, И.Р. Компоненты волоконно-оптических линий связи / И.Р. Гулаков, А.О. Зеневич, Т.М. Мансуров. -Минск, БГАС, 2020. -336 с.
3. Optical communications. Components and Systems: analysis: design: optimization: application / Jorgen Franz, Vi-rander Jain. -Harrow, U.K.: Alpha Science International Ltd, 2000. 717 p.
4. Singh, Manpreet, Dewra, Sanjeev, A review on optical switches and its techniques [Electronic resource] / [https://www.researchgate.net/publication/281620066\\_A\\_review\\_on\\_optical\\_switches\\_and\\_its\\_techniques](https://www.researchgate.net/publication/281620066_A_review_on_optical_switches_and_its_techniques) Дата доступа: 04.10.2021
5. Межгосударственный стандарт Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий ГОСТ ISO/IEC 17025-2019: введ. 15.07.19. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 28.06.2019 г. N 55)
6. Листвин, А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В. Листвин, В. Н. Листвин – Москва : ЛЕСАРпт, 2005. – 208 с. – ISBN 5902367034. 208 с.
7. Рекомендация МСЭ-R BT.1367-2 Цифровая волоконно-оптическая система последовательной передачи сигналов, соответствующих Рекомендациям МСЭ-R BT.656 , МСЭ-R BT.799 , МСЭ-R BT.1120 и МСЭ-R BT.2077 (часть 3)

## References

1. Maharramov, V.A. Fully optical networks based on Smart mirrors / V.A.Maharramov. Scientific journal "Problems of Infocommunications" of the Belarusian State Academy of Communications, No. 1 (11). -Minsk: Publishing house of LLC "Polykraft", 2020. -p.19-26.
2. Gulakov, I.R. Components of fiber-optic communication lines / I.R. Gulakov, A.O. Zenevich, T.M. Mansurov. -Minsk, BGAS, 2020.-336 p
3. Optical communications. Components and Systems: analysis: design: optimization: application / Jorgen Franz, Vi-rander Jain. -Harrow, U.K.: Alpha Science International Ltd, 2000. 717 p
4. Singh, Manpreet, Dewra, Sanjeev, A review on optical switches and its techniques [Electronic resource] /

[https://www.researchgate.net/publication/281620066\\_A\\_review\\_on\\_optical\\_switches\\_and\\_its\\_techniques](https://www.researchgate.net/publication/281620066_A_review_on_optical_switches_and_its_techniques) Date of access: 04.10.2021

5. Interstate standart General requirements for the competence of testing and calibration laboratories GOST ISO/IEC 17025-2019: introduction. 15.07.19. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (Protocol No. 55 dated 28.06.2019)

6. Listvin, A.V. Reflectometry of optical fibers / A.V. Listvin, V. N. Listvin - Moscow: LESARart, 2005. - 208 p— - ISBN 5902367034. 208 p.

7. Recommendation ITU-R BT.1367-2 Digital fiber-optic system for serial transmission of signals conforming to the Recommendations of ITU-R BT.656, ITU-R BT.799, ITU-R BT.1120 and ITU-R BT.2077 (Part 3)