

УДК 621.372.8

# Датчик обнаружения проникновения на основе макроизгиба одномодового оптического волокна

**А.О. ЗЕНЕВИЧ,**

д. т. н., профессор, ректор

**Т.М. ЛУКАШИК,**

преподаватель I категории кафедры ОТПС

**Е.В. НОВИКОВ,**

к. т. н., доцент, директор Института современных технологий связи

**С.В. ЖДАНОВИЧ,**

к. т. н., доцент, преподаватель

**Г.В. ВАСИЛЕВСКИЙ,**

заведующий лабораторией

УО «Белорусская государственная академия связи»

**А.А. ЛАГУТИК,**

младший научный сотрудник ОАО «Гипросвязь»

Выполнен выбор одномодового оптического волокна, которое подходит для создания датчиков на основе его макроизгиба. Определены длина волны оптического излучения и диаметр макроизгиба, являющиеся оптимальными при создании датчиков проникновения. Предложена конструкция датчика проникновения на основе макроизгиба оптического волокна, приведены его технические характеристики.

**Ключевые слова:** оптическое волокно, макроизгиб, коэффициент затухания, рефлектограмма.

**Введение.** В настоящее время волоконно-оптические кабели широко применяются для передачи различной информации, например сведений о состоянии того или иного объекта. На основании оптического волокна, входящего в состав волоконно-оптического кабеля, можно создавать датчики для измерения деформации, вибрации и других механических воздействий [1]. Все более широко такие датчики используются для защиты объектов хозяйствования от проникновения [2].

К преимуществам датчиков на основе оптического волокна (далее – ДОВ) по сравнению с другими типами датчиков можно отнести следующие: невосприимчивость к электромагнитным воздействиям; электробезопасность; для их создания можно использовать оптическое волокно, применяемое в волоконно-оптических кабелях.

При использовании ДОВ для защиты различных объектов хозяйствования от проникновения зачастую возникает проблема, связанная с точностью определения места вторжения на территорию объекта, которая в некоторых системах

составляет до 25 м [3]. Точность определения может быть повышена при использовании ДОВ, реагирующих на разрыв оптического волокна в месте вторжения. Однако такие системы затем требуют восстановления работоспособности.

Системы обнаружения проникновения на объект на основе ДОВ с брэгговскими решетками являются дорогостоящими и сложными в реализации. Поэтому цель данной работы – создание ДОВ, позволяющего повысить точность обнаружения места вторжения, а также достаточно простого в реализации.

**Экспериментальная установка и методика исследования.** В качестве объектов исследования были выбраны оптические волокна G652, G655 и G657, поскольку они находят широкое применение при изготовлении волоконно-оптического кабеля.

Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

Экспериментальная установка функционирует следующим образом. Оптические импульсы длительностью 3 нс и мощностью 1 мВт рефлектометр Р

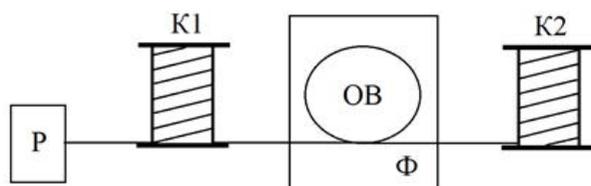


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной установки  
 P – рефлектометр; K1 и K2 – катушки с оптическим волокном;  
 OB – оптическое волокно;  
 Ф – формирователь макроизгиба оптического волокна

направляет в оптическое волокно OB. Длина волны оптического излучения импульсов рефлектометра P принимала следующие значения: 1310, 1490, 1550 и 1625 нм. Эти длины волн соответствовали окнам прозрачности исследуемых оптических волокон. Оптическое волокно было намотано на катушки K1 и K2, как это показано на рис. 1. Катушки позволяли увеличивать и уменьшать длину участка оптического волокна, находящегося между ними.

Между катушками располагается формирователь макроизгиба оптического волокна Ф. Он создает макроизгибы с диаметрами в диапазоне от 5 до 60 мм. Такой диапазон был выбран, поскольку при диаметрах макроизгиба больше 60 мм затуханием оптического излучения, вносимым макроизгибом, можно пренебречь, а при диаметрах меньше 5 мм возможен излом оптического волокна.

Рефлектометр P измеряет рефлектограмму обратно рассеянного излучения в волокне, образуемого оптическими импульсами, распространяющимися по волокну.

Длина оптического волокна была одинакова для всех типов исследуемых оптических волокон и составляла 1,6 км. Измерения выполнялись при постоянной температуре  $T = 293$  К.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В процессе измерения были получены рефлектограммы для оптического волокна с макроизгибом и без него (рис. 2). Одна из типичных рефлектограмм для волокна с наличием одного макроизгиба представлена на рис. 2б. Отметим, что рефлектограммы на рис. 2 получены для длины волны оптического излучения 1625 нм и волокна G655. При наличии в волокне макроизгиба на его рефлектограмме появляется одна «ступенька», которая характеризуется высотой  $\Delta D$  (см. рис. 2б). Наиболее четко такая ступенька начинает проявляться в рефлектограмме при диаметрах макроизгиба  $d_m \leq 20$  мм для всех исследуемых оптических волокон.

Высота «ступеньки» зависела от величины  $d_m$  и длины волны оптического излучения. При постоянной длине волны оптического излучения с

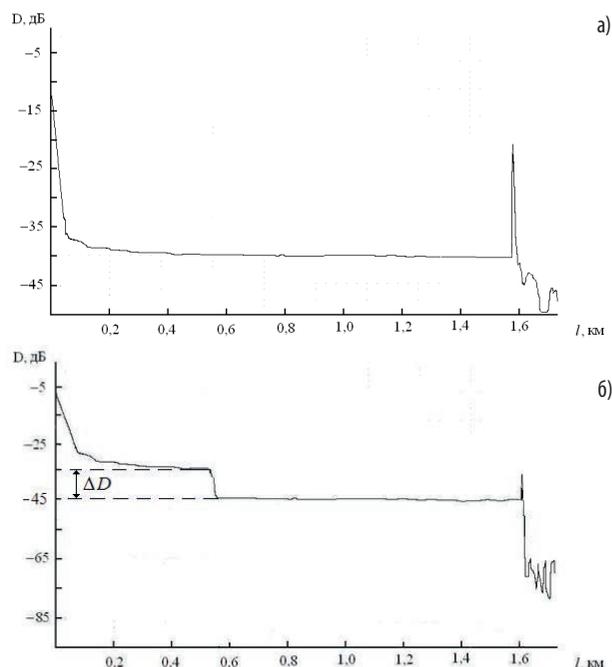


Рисунок 2 – Типичная рефлектограмма оптического волокна  
 а – без макроизгиба; б – с макроизгибом диаметром 15 мм

уменьшением диаметра макроизгиба величина  $\Delta D$  возрастала. Также наблюдалось увеличение  $\Delta D$  при постоянном значении  $d_m$  и увеличении длины волны оптического излучения. Необходимо отметить, что при постоянных значениях длины волны оптического излучения и диаметра макроизгиба высота «ступеньки» принимала разные значения для различных типов оптических волокон. Такое поведение оптических волокон связано с зависимостью величины затухания мощности оптического излучения в области макроизгиба от длины волны оптического излучения и диаметра макроизгиба. Это подтверждается данными в табл. 1, которые получены для  $d_m = 15$  мм, и графиками зависимостей на рис. 3.

Таблица 1 – Характеристики оптических волокон

Оптическое волокно	Длина волны оптического излучения, нм			
	1310	1490	1550	1625
G652	0,5	3,0	3,6	5,5
G655	3,5	5,4	5,9	9,6
G657	0,2	1,2	3,2	5,3

Как видно из табл. 1, различные типы оптических волокон обладают различными значениями затухания оптического излучения  $\Delta D$  в области макроизгиба диаметром 15 мм. Это связано с тем, что исследуемые оптические волокна имели различную внутреннюю структуру. Наибольшее затухание  $\Delta D$  для всех исследуемых волн оптического излучения наблюдалось для оптического волокна G655, а наименьшее – для волокна G657.

На рис. 3 приведены зависимости затухания оптического излучения в оптическом волокне от диаметра макроизгиба для волокна G655. Для других

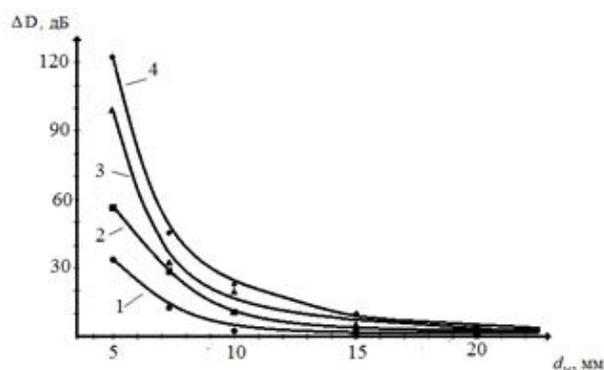


Рисунок 3 – Типичная зависимость затухания оптического излучения в оптическом волокне от диаметра макроизгиба  
1 – длина волны 1310 нм; 2 – 1490 нм; 3 – 1550 нм; 4 – 1625 нм

типов оптических волокон эти зависимости были аналогичными. Зависимости затухания оптического излучения на макроизгибе от  $d_m$  имели вид, близкий экспоненциальному. Для длин волн оптического излучения 1310 и 1490 нм при  $d_m \geq 20$  мм значение  $\Delta D=0$ . При длинах волн 1550 и 1625 нм и  $d_m \geq 20$  мм значение  $\Delta D$  не превышало 0,1 дБ для всех исследуемых волокон. Для длин волн 1550 и 1625 нм в диапазоне  $d_m$  от 20 до 60 мм величина  $\Delta D$  уменьшается. При  $d_m \geq 60$  мм это уменьшение прекращается и макроизгиб перестает вносить затухания в мощность оптического излучения, распространяющегося по оптическому волокну.

**Конструкция датчика и его технические характеристики.** На рис. 4 представлена конструкция датчика обнаружения проникновения на объект.

Сущность работы этого датчика заключается в том, что при появлении макроизгиба оптического волокна меняется величина затухания

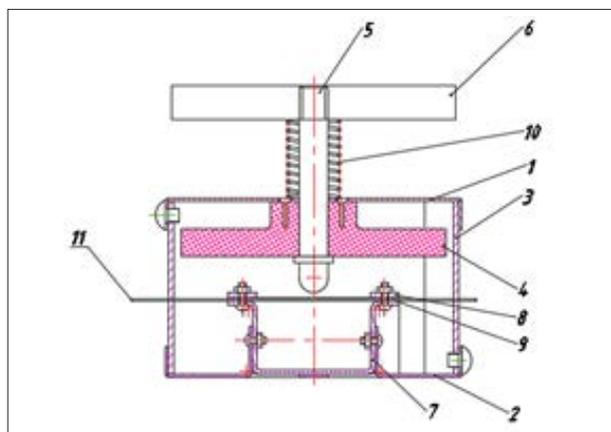


Рисунок 4 – Конструкция датчика обнаружения проникновения  
1 – крышка верхняя; 2 – крышка нижняя; 3 – кожух; 4 – направляющая; 5 – стержень; 6 – кнопка; 7 – опора; 8 – планка; 9 – мембраны; 10 – пружина; 11 – оптическое волокно

мощности оптического излучения в этом волокне. Датчик подключается к оптическому волокну следующим образом. Волокно укладывается между двумя мембранами 9 напротив стержня 5. Данное положение оптического волокна обеспечивают специальные канавки на опоре 7. К одному из концов оптического волокна подключается рефлектометр. Мембраны 9, между которыми проложено оптоволокно, при помощи планок 8 крепятся к опоре 7. Опора жестко установлена на нижней крышке 2. К верхней крышке 1 крепится направляющая 4. Корпус прибора собран из кожуха 3, верхней крышки 1 и нижней крышки 2.

При нажатии на кнопку 6 смещается стержень 5, который, проходя через направляющую 4, надавливает на мембраны 9. В результате возникает макроизгиб оптического волокна. Появление макроизгиба фиксируется рефлектометром.

При прекращении надавливания пружина 10 возвращает стержень 5 в исходное состояние. Мембраны 9, являясь упругими элементами конструкции, возвращают исходное положение оптическому волокну 11.

Для обнаружения проникновения некоторого субъекта на охраняемый объект данный датчик (или несколько датчиков) маскируется (маскируются) на контролируемой поверхности. Пересекая ее, субъект наступает на один или несколько датчиков и обнаруживает свое присутствие.

Макроизгиб меняет характеристики оптического волокна, как это было показано выше (см. рис. 2). Обнаружить место проникновения можно на основании анализа рефлектограммы, полученной рефлектометром.

Технические характеристики датчика обнаружения проникновения на объект приведены в табл. 2.

В датчике использовано оптическое волокно G655, поскольку данный тип волокна показывает лучшую восприимчивость к появлению макроизгиба среди исследуемых оптических волокон. Под восприимчивостью понимается зависимость между диаметром макроизгиба оптического волокна и затуханием мощности оптического

Таблица 2 – Технические характеристики датчика обнаружения проникновения на объект

Оптическое волокно	Длина волны оптического излучения, нм	Диаметр макроизгиба, мм	Длительность импульса рефлектометра, нс	Минимальное расстояние между двумя датчиками, м
G655	1625	15	3	2,2

излучения на этом макроизгибе. При одинаковом значении  $d_m$  наибольшее значение  $\Delta D$  соответствовало волокну G655 (см. табл. 1).

Для работы датчика выбрана длина волны оптического излучения 1625 нм, поскольку на этой длине волны все оптические волокна показывают наилучшую восприимчивость к макроизгибу. Так, значение  $\Delta D$  у всех исследованных типов оптических волокон для одинаковых диаметров макроизгиба на длине волны 1625 нм было больше по сравнению со значениями для других длин волн (см. табл. 1 и рис.3).

Выбрана минимальная из наиболее распространенных для выпускаемых в серийном производстве рефлектометров длительность импульса в 3 нс. Отметим, что сокращение длительности импульса приведет к уменьшению расстояния между двумя датчиками, при котором по рефлектограмме их можно отличить друг от друга.

На рис. 5 показана рефлектограмма подключения к оптическому волокну двух датчиков обнаружения проникновения.

Расстояние между двумя датчиками на рис. 5 обозначено как  $\Delta$ . Величина  $\Delta$  уменьшается при сокращении расстояния между ними. Минимальное расстояние, которое удалось различить на рефлектограмме, составляло 2,2 м. При меньших расстояниях рефлектограмма имела вид, аналогичный рефлектограмме, представленной на рис. 2б.

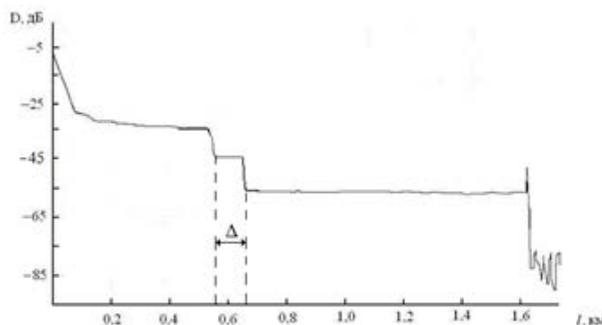


Рисунок 5 – Рефлектограмма подключения к оптическому волокну двух датчиков проникновения  
 $\Delta$  – расстояние между двумя датчиками

В датчике выбран максимальный диаметр макроизгиба, который обнаруживался рефлектометром при времени накопления 1 с, которое соответствовало минимальному времени срабатывания датчика. Под временем срабатывания понимался промежуток времени между образованием и исчезновением макроизгиба. Использование такого диаметра макроизгиба в датчике

позволяет достаточно успешно обнаруживать место проникновения на объект по рефлектограмме и устанавливать несколько датчиков на единицу длины оптического волокна.

**Заключение.** Предложена простая в реализации конструкция датчика обнаружения проникновения, определены его характеристики.

На основании выполненных исследований тип оптического волокна G655 определен как обладающий наибольшей восприимчивостью к макроизгибам.

Подобраны оптимальные для данного применения значения длины волны оптического излучения 1625 нм и диаметр макроизгиба 15 мм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бутусов, М.М. Волоконная оптика и приборостроение / М. М. Бутусов, С.Л. Галкин, С.П. Оробинский, Б.П. Пал. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ие, 1987. – 328 с.
2. Куликов, А.В. Волоконно-оптическая система охраны периметра на брэгговских решетках как перспективный метод мониторинга безопасности объекта / А.В. Куликов // Ползуновский альманах. – № 2. – 2010. – С. 274–278.
3. Куликов, А.В. Обзор волоконно-оптических систем охраны периметра / А.В. Куликов, А.В. Игнатъев // Алгоритмы безопасности. – № 4. – 2010. – С. 56–61.

*A single-mode optical fiber has been selected, which is best suited for creating sensors based on its macrobending. The wavelength of optical radiation and the diameter of macrobending, which are the most optimal when creating penetration sensors, are determined. The design of a penetration sensor based on macrobending of an optical fiber is proposed. The technical characteristics of this sensor are given.*

**Key words:** optical fiber, macrobending, attenuation coefficient, sensor.

Получено 02.12.19.