

УДК 621.391.64

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ НЕГЛАСНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ ПО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ СВЯЗИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОИЗГИБОВ ВОЛОКНА

И. Р. ГУЛАКОВ,
д. ф.-м. н., профессор кафедры физических
и математических основ информатики

Т. А. МАТКОВСКАЯ,
старший преподаватель кафедры
телекоммуникационных систем

А. В. ШВАКОВ,
аспирант

А. О. ЗЕНЕВИЧ,
д. т. н., профессор, ректор

Е. В. НОВИКОВ,
к. т. н., доцент, директор
Института современных
технологий связи

УО «Белорусская государственная академия связи»

Статья посвящена оценке возможности использовать микроизгиб оптического волокна для негласного получения информации с боковой поверхности волокна. Показано, что расстояние от микроизгиба до места, на котором можно осуществлять негласное получение информации с боковой поверхности волокна, зависит от длины волны оптического излучения и марки волокна.

Ключевые слова: микроизгиб, оптическое волокно, канал утечки информации, информационная безопасность, негласное получение информации.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с распространением волоконно-оптических систем передачи информации становится актуальной проблема выявления не-санкционированного воздействия на оптическое волокно для получения доступа к передаваемым сигналам [1]. Существуют способы вывода оптического излучения за пределы оптического волокна без его разрыва [2]. Наиболее простым из таких способов является создание микроизгиба волокна [3]. Микроизгиб – это резкое изменение кривизны оптического волокна, вызывающее локальное осевое смещение порядка нескольких микрометров [4]. Вывод излучения при помощи микроизгиба за пределы волокна может осуществляться не только в месте его формирования, но и на некотором расстоянии от этого места [5]. Представляет интерес определение расстояния вдоль оптического волокна от микроизгиба до места, на котором существует возможность негласного получения информации, транслируемой по волокну.

В связи с этим цель статьи – определить протяженности волокна от микроизгиба до места, на котором возможно негласное получение информации с боковой поверхности оптического волокна.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Объектом исследования являлись одномодовые оптические волокна марок G652, G655 и G657, как наиболее часто применяемые в современных оптических кабелях и системах передачи данных.

На рис. 1 показана структурная схема экспериментальной установки для изучения свойств микроизгиба волокна. Данная установка работала следующим образом: оптическое излучение от источника ИИ поступало в оптическое волокно ОВ. Источник мог генерировать оптическое излучение следующих длин волн: 1310, 1490, 1550 и 1625 нм, которые соответствуют «окнам прозрачности» одномодового оптического волокна [1].

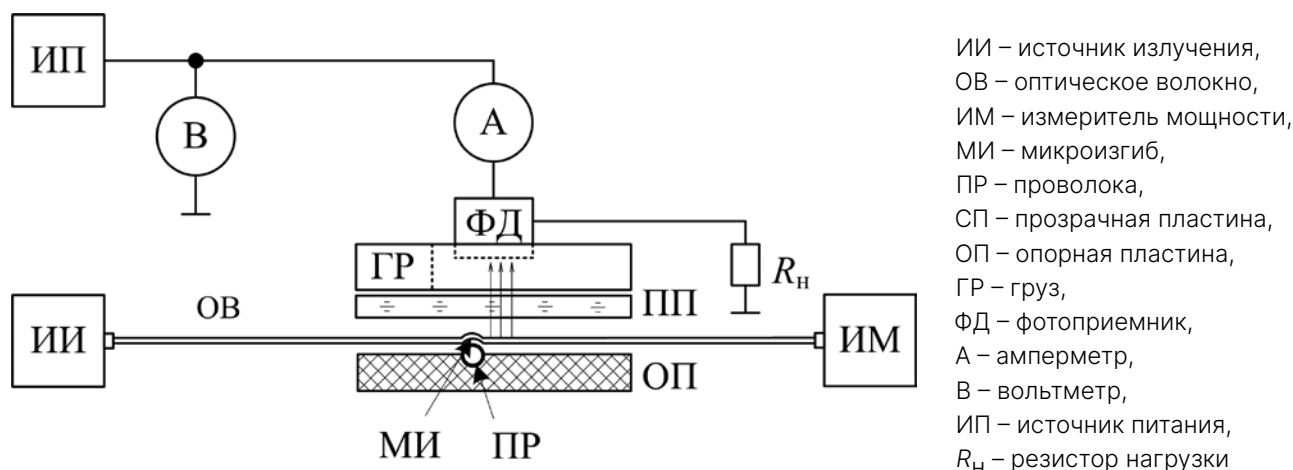


Рисунок 1. Структурная схема экспериментальной установки

Мощность направляемого в волокно ОВ оптического излучения для этих длин волн была одинакова и составляла 1 мВт.

Выход оптического волокна ОВ был подключен к измерителю мощности излучения ИМ. При проведении измерений протяженность волокна ОВ составляла 1 м. Это позволяло пренебречь потерей мощности оптического излучения в волокне, которая на исследуемых длинах волн не превышала 0,4 дБ/км.

При формировании микроизгибов МИ в оптическом волокне ОВ применялась медная проволока ПР с диаметрами от 100 до 200 мкм. Медная проволока ПР располагалась перпендикулярно волокну ОВ. Для формирования микроизгиба в волокне ОВ использовались прозрачная пластина ПП, опорная пластина ОП и груз ГР, как это показано на рис. 1.

Усилие, которым осуществлялось воздействие медной проволоки на волокно и, соответственно, размер микроизгиба, определялись массой груза, равной 1250 г. Масса груза и диаметры проволоки были выбраны из условия получения потери мощности на микроизгибах всех исследуемых марок оптических волокон, не превышающей 6 дБ для используемых длин волн оптического излучения. Также при этом существовала возможность регистрации оптического излучения с боковой поверхности волокна.

Величина потери мощности излучения на микроизгибах была выбрана в качестве критерия, поскольку при передаче данных по оптическому волокну закладывается эксплуатационный запас Q не более 6 дБ [6]. Отметим, что в этих условиях при возникновении микроизгиба, вносящего потерю мощности выше 6 дБ, передача данных по оптическому волокну прекратится и, следовательно, появление микроизгиба будет обнаружено.

Регистрация оптического излучения, выходящего за пределы оптического волокна с его боковой поверхности, осуществлялась фотоприемником ФД, который мог перемещаться вдоль оптического волокна по специальному пазу, имеющемуся в грузе ГР. В качестве фотоприемника применялся германиевый фотодиод ФД-10ГА, чувствительный к оптическому излучению исследуемых длин волн.

От источника постоянного напряжения ИП на фотоприемник ФД подавалось напряжение обратного смещения U_n , контролируемое при помощи вольтметра В, а амперметр А измерял электрический ток, протекающий через фотоприемник. Для ограничения величины тока последовательно с фотоприемником был включен резистор нагрузки R_H , сопротивление которого составляло 1 кОм. Измерения проводились при температуре окружающей среды $T = 293$ К.

При проведении экспериментальных исследований определялись вносимые микроизгибом волокна потери мощности излучения D_n по методике, описанной в работе [2]. Также определялся коэффициент отводимой мощности оптического излучения с боковой поверхности D_b . Коэффициент D_b вычислялся на основании выражения:

$$D_b = 10 \lg \left(\frac{I - I_T}{S \times P} \right), \quad (1)$$

где S – чувствительность фотоприемника; I – ток, протекающий через фотоприемник при наличии оптического излучения; I_T – темновой ток, протекающий через фотоприемник в отсутствие оптического излучения; P – мощность источника излучения ИИ.

В процессе исследований оценивалось изменение величины коэффициента D_b в зависимости от удаления места съема излучения l

от местонахождения микроизгиба по направлению распространения оптического излучения в волокне.

Необходимо отметить, что наименьшее значение величин D_{Π} и $D_{\text{В}}$, регистрируемое используемым измерительным оборудованием экспериментальной установки, составляло -50 дБ. Поэтому при проведении измерений определялось расстояние l_{50} от точки формирования микроизгиба до места негласного получения информации с боковой поверхности оптического волокна, в котором величина $D_{\text{В}} = -50$ дБ.

Оценка наибольшего значения расстояния l , на котором еще возможно негласное получение информации с боковой поверхности оптического волокна, может быть произведена путем анализа зависимости $D_{\text{В}}$ от l для конкретных марок волокон и длин волн оптического излучения и определения минимального значения коэффициента отводимой мощности оптического излучения с боковой поверхности волокна $D_{\text{ВМ}}$, для которого удастся осуществить негласное получение информации, по следующей формуле:

$$D_{\text{ВМ}} = P_{\min} - Q - P + \alpha z + nA, \quad (2)$$

где $P_{\min}$ – теоретический предел расшифровки сигнала, измеренный в дБм; α – потери мощности оптического излучения, приходящиеся на единицу длины волокна, определяемые в дБ/м; z – протяженность волокна от его начала до места нахождения микроизгиба; n – количество соединений в оптическом волокне, находящихся от начала волокна до местонахождения микроизгиба; A – потеря мощности оптического излучения на одном соединении, измеренная в дБ.

Величина $P_{\min}$ определяется на основании методики, предложенной в работе [6].

Все остальные величины в формуле (2) выбираются с учетом используемой технологии передачи данных по оптическому волокну, параметров волокна и оптических соединений, а также требований к волоконно-оптическим линиям связи по наличию в них эксплуатационного запаса Q [6].

Затем из зависимости $D_{\text{В}}$ от l находят протяженность участка оптического волокна L , в конце которого значение $D_{\text{В}} = D_{\text{ВМ}}$. Это место в оптическом волокне, в котором еще можно осуществить негласное получение информации с боковой поверхности оптического волокна.

Величина L будет зависеть от удаления места формирования микроизгиба от входного торца волокна. При этом наименьшие значения L будут в конце волокна. Это связано с тем, что мощность оптического излучения уменьшается при распространении излучения по оптическому волокну. Соответственно, в конце оптического волокна мощность такого излучения будет меньше, чем в любом другом месте волокна.

Наименьшее значение величины L далее будем обозначать как $L_{\text{М}}$. Расстояние $L_{\text{М}}$ в процессе исследования определялось для различных технологий передачи по оптическому волокну. Для этого использовалось следующее выражение:

$$D_{\text{ВМ}} = P_{\min} - Q - P_{\Pi}, \quad (3)$$

где P_{Π} – пороговая мощность приемника, применяемого для реализации технологий передачи по оптическому волокну, измеренная в дБм.

Вычислив по формуле (3) значение $D_{\text{ВМ}}$, на основании зависимости $D_{\text{В}}$ от l находят значение $L_{\text{М}}$, как было рассмотрено выше.

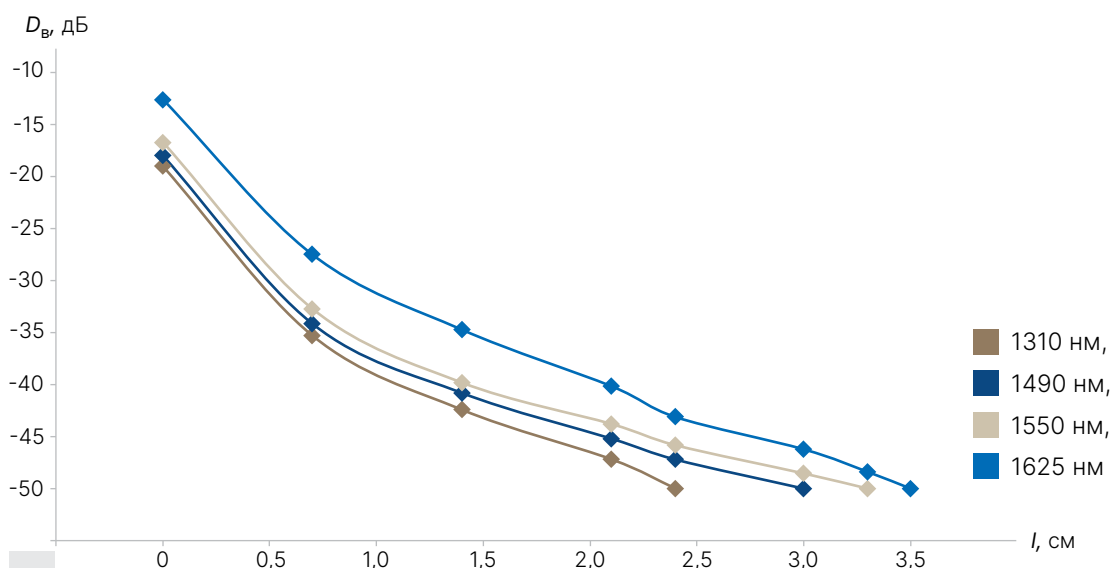


Рисунок 2. Зависимость коэффициента отводимой мощности оптического излучения с боковой поверхности $D_{\text{В}}$ от расстояния до места формирования микроизгиба l для разных длин волн

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследования были получены зависимости величины коэффициента отводимой мощности оптического излучения с боковой поверхности D_B от расстояния до места формирования микроизгиба l .

На рис. 2 представлены типичные зависимости D_B от l , полученные для оптического волокна G655 при диаметре формирующей микроизгиб проволоки 200 мкм. Для других типов ОВ и других диаметрах микроизгиба зависимости имели аналогичный вид.

При этом вносимые микроизгибом волокна потери мощности излучения составляли: $D_{\Pi} = -4,1$ дБ для длины волны 1310 нм; $D_{\Pi} = -4,7$ дБ для 1490 нм; $D_{\Pi} = -5,0$ дБ для 1550 нм; $D_{\Pi} = -5,7$ дБ для 1625 нм. Как видно из полученных зависимостей, расстояние l_{50} на котором величина D_B уменьшается до -50 дБ с увеличением длины волны увеличивается. Для других марок исследуемых волокон с увеличением длины волны величина l_{50} изменялась аналогично.

Сведения о значениях l_{50} , полученных для разных длин волн при формировании микроизгиба волокон, представлены в таблице 1. В измерениях микроизгиб создавался при помощи проволоки диаметром 200 мкм.

Как следует из представленных в таблице 1 данных, для одной и той же длины волны величина l_{50} отличается для различных марок оптических волокон. Для всех исследуемых длин волн излучения наибольшие значения наблюдались для волокна G655, а наименьшие – для G652. При меньших диаметрах проволоки сохраняются аналогичные тенденции. Такое отличие величины l_{50} для различных марок оптических

Марка оптического волокна	Длина волны, нм	Расстояние l_{50} , см
G652	1310	1,6
	1490	2,2
	1550	2,4
	1625	2,6
G655	1310	2,5
	1490	3,0
	1550	3,3
	1625	3,5
G657	1310	2,4
	1490	2,7
	1550	3,0
	1625	3,3

Таблица 1. Характеристики оптических волокон

волокон при одной и той же длине волны излучения связано с отличием их внутренней структуры и используемых для изготовления сердцевин материалов.

На рис. 3 представлена фотография участка оптического волокна G655 с областью микроизгиба, по которому распространяется оптическое излучение с длиной волны 1310 нм.

Хорошо видно, что в области формирования микроизгиба и за ней наблюдалось свечение волокна. Это свечение обусловлено выходом оптического излучения за пределы волокна,



Рисунок 3. Фотография микроизгиба оптического волокна G655, по которому распространяется оптическое излучение с длиной волны 1310 нм

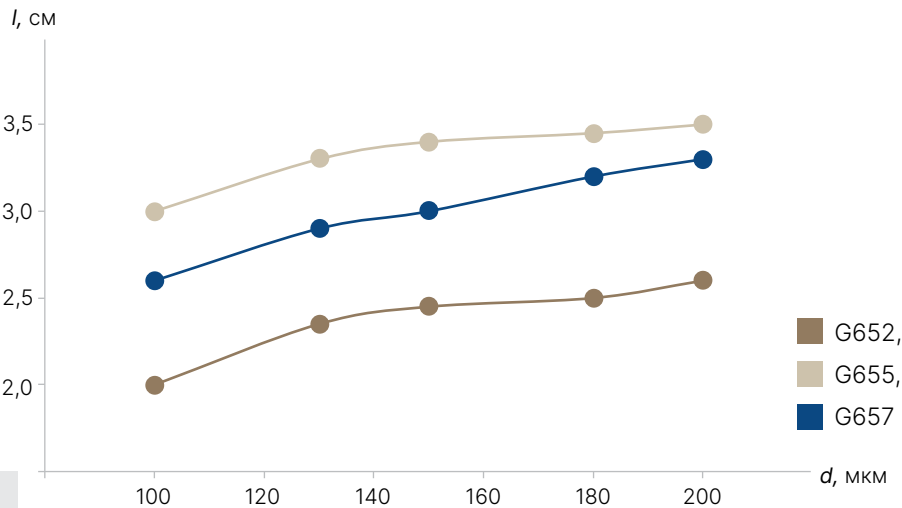


Рисунок 4. Зависимость величины I_{50} от диаметра проволоки, формирующей микроизгиб

Технология передачи данных (интерфейс)	Марка оптического волокна	Длина волны, нм	Пороговая мощность приемника, дБм	Теоретический предел расшифровки сигнала P_{min} , дБм	D_{BM} , дБ	L_m , см
Fast Ethernet (100Base-FX)	G652	1310	-40	-71	-37	1,3
		1550		-72	-38	1,9
	G655	1310		-71	-37	0,9
		1550		-72	-38	1,3
	G657	1310		-71	-37	1,5
		1550		-72	-38	2,1
Fast Ethernet (1000Base-BX10)	G652	1310	-19	-61	-48	1,5
		1490		-62	-49	2,1
	G655	1310		-61	-48	3,3
		1490		-62	-49	3,4
	G657	1310		-61	-48	2,5
		1490		-62	-49	2,8
Fast Ethernet (1000Base-ZX)	G652	1550	-36	-62	-32	1,1
	G655					0,7
	G657					1,6
10 Gigabit Ethernet (10Gbase-LR)	G652	1310	-14,4	-49	-40,6	1,5
	G655					1,2
	G657					2,5
10 Gigabit Ethernet (10Gbase-ZR)	G652	1550	-24	-50	-32	1,1
	G655					0,7
	G657					1,6
40 Gigabit Ethernet (40Gbase-LR4)	G652	1310	-13,7	-49	-41,3	1,6
	G655					1,3
	G657					2,6

Таблица 2. Оценка теоретического предела расшифровки сигнала

как непосредственно в месте создания микроизгиба, так и на прилегающем к микроизгибу участке волокна.

На рис. 4 представлена зависимость величины l_{50} от диаметра проволоки, формирующей микроизгиб. Показанные зависимости получены для длины волны оптического излучения 1625 нм. Для других длин волн эти зависимости были аналогичными.

Как видно из полученных на рис. 4 зависимостей, увеличение диаметра микроизгиба d приводило к росту величины l_{50} для данных марок оптических волокон. Наибольшее значения l_{50} для всего исследуемого диапазона диаметров микроизгибов получено для оптического волокна G655, а наименьшее – для волокна G652.

В таблице 2 для одной из наиболее часто применяемых технологий передачи данных по оптическому волокну Ethernet приведены сведения о теоретическом пределе расшифровки сигнала $P_{\min}$, и величинах $D_{\text{вм}}$ и $L_{\text{м}}$, позволяющие

оценить возможность использования микроизгиба оптического волокна для формирования канала негласного получения информации. Для всех представленных в таблице 2 технологий передачи данных существует возможность негласного получения информации с боковой поверхности оптического волокна при помощи микроизгиба. Протяженность участка оптического волокна $L_{\text{м}}$ зависит не только от марки используемого оптического волокна и длины волны оптического излучения, но и от технологии передачи данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что расстояние от микроизгиба волокна до места, на котором возможно негласное получение информации, увеличивается с возрастанием длины волны излучения для всех исследуемых оптических волокон при неизменном значении размера микроизгиба и постоянной величине формирующего этот микроизгиб усилия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев, С. А. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы / С. А. Дмитриев, Н. Н. Слепов. – М: Техносфера, 2010. – 607 с.
2. Шубин, В. В. Информационная безопасность волоконно-оптических систем / В. В. Шубин. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015. – 257 с.
3. ГОСТ ИЕС 60050-731-2017. Международный электротехнический словарь. Глава 731. Волоконно-оптическая связь. – М: Стандартиформ. – 2020. – 41 с.
4. СТБ 1201-2012 «Кабели связи оптические. Общие технические условия».
5. Исследования свойств микроизгиба одномодового оптического волокна / И. Р. Гулаков [и др.]. – Труды учебных заведений связи. 2023. – Т. 9. – № 4. – С. 15–20.
6. Способ обеспечения информационной безопасности объектовой волоконно-оптической системы передачи данных / А. О. Зеневич [и др.]. – Доклады БГУИР. 2022. – № 2 (20). – С. 86–93.

The scientific research is devoted to the assessment of the possibility of using microbending of optical fiber for covertly obtaining information from the side surface of the fiber. It was found that the distance from the microbending, at which it is possible to carry out covertly obtaining information from the side surface of the fiber, depends on the wavelength of optical radiation and the type of fiber.

Keywords: microbending, optical fiber, information leak channel, information security, covert acquisition of information.

Получено 23.01.2024.