

4. Asrul Izam Azmi, Ian Leung, Xiaobao Chen, Shaoling Zhou, Qing Zhu, Kan Gao, Paul Childs and Gangding Peng. Fiber Laser Based Hydrophone Systems // Photonic Sensors. – 2011. – V. 1. – № 3. – P. 210–221.
5. Артеев В.А., Варжель С.В., Куликов А.В. Распределенный волоконно-оптический датчик акустического давления на брэгговских решетках // Сборник трудов VII международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика–2011». – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – С. 509–510.
6. Варжель С.В., Стригалев В.Е. Метод устранения влияния сигнала помехи на чувствительность приема гидроакустической антенны на основе волоконных брэгговских решеток // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 5 (69). – С. 5–8.
7. Плотников М.Ю., Шарков И.А., Дейнека И.Г. Модификация схемы обработки данных фазового интерферометрического акустического датчика // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 5 (81). – С. 20–24.
8. Исламова Э.Ф., Куликов А.В., Плотников М.Ю. Компьютерное моделирование перекрестных помех в информационно-измерительном волоконно-оптическом приборе // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 5 (87). – С. 59–62.

- Плотников Михаил Юрьевич* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, plotnikov-michael@yandex.ru
- Куликов Андрей Владимирович* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, a.kulikov86@gmail.com
- Стригалев Владимир Евгеньевич* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, профессор, vstrglv@mail.ru

УДК 535.55

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ АНИЗОТРОПНЫХ ОДНОМОДОВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ ОТ ДИАМЕТРА НАМОТКИ

С.М. Аксарин, С.В. Архипов, С.В. Варжель, А.В. Куликов, В.Е. Стригалев

Разработана экспериментальная установка, позволяющая проводить измерения линейных потерь в оптических волокнах методом вносимых потерь и h -параметра в анизотропных одномодовых волоконных световодах методом скрещенных поляризаторов. Проведено исследование величины линейных оптических потерь и h -параметра анизотропных одномодовых волоконных световодов в зависимости от диаметра намотки. В эксперименте диаметр намотки изменялся с шагом 2,5 мм в диапазоне диаметров 3–50 мм и с шагом 0,5 мм в диапазоне диаметров 3–10 мм. Исследования проведены для двулучепреломляющих оптических волокон с эллиптической напрягающей оболочкой с концентрацией легирования GeO_2 4, 12 и 18 мол.%. На основе анализа полученных результатов выработаны рекомендации по допустимой величине диаметра изгиба анизотропных одномодовых волоконных световодов, применяемых в волоконно-оптических датчиках интерферометрического типа. Измеренные параметры являются усредненными значениями для изогнутого участка, так как контроль равномерности распределения механического напряжения и пространственной ориентации эллиптической напрягающей оболочки у образцов в ходе настоящего эксперимента не осуществлялся.

Ключевые слова: анизотропный одномодовый волоконный световод, намотка, оптические потери, h -параметр.

Введение

В современных волоконно-оптических датчиках (ВОД) интерферометрического типа широко применяются анизотропные одномодовые волоконные световоды (АОВС) [1, 2]. Наиболее критичным к параметрам АОВС типом ВОД являются волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) [1, 3]. Разрабатываемые ВОГ повышенного класса точности создаются на основе АОВС с эллиптической напрягающей оболочкой [4]. При разработке конструкции ВОГ необходимо учитывать допустимые диаметры изгиба оптических волокон (ОВ). Изгиб АОВС приводит к увеличению линейных оптических потерь, взаимной перекачке энергии между ортогональными поляризационными модами и к увеличению шумовой составляющей в сигнале ВОГ соответственно.

Целью настоящей работы является исследование зависимости величины затухания и h -параметра АОВС от диаметра его намотки.

Исследование оптических потерь

В работе исследовались образцы АОВС, изготовленные по технологии [5, 6]. Параметры исследованных образцов АОВС указаны в таблице.

На основе информации, полученной при обзоре основных методик измерения, предложена оптическая схема измерения оптических потерь (рис. 1).

Наименования исследуемых образцов	ESC-4	ESC-SP13	ESC-SP16
Диаметр сердцевины, мкм	9	6	5
Диаметр модового поля, мкм	7,64	4,96	4,68
Концентрации GeO ₂ , мол.%	4	12	18
Линейные потери, дБ/км	0,5	2,5	4,65
Длина биений, мм	2,25	1,6	1,8
<i>h</i> -параметр, 1/м	6·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁴	9·10 ⁻⁵

Таблица. Паспортные данные исследуемых типов АОВС

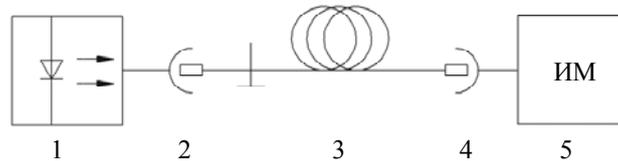


Рис. 1. Схема для измерения оптических потерь: 1 – источник излучения; 2, 4 – оптические разъемные коннекторы; 3 – исследуемый образец АОВС; 5 – измеритель оптической мощности (ИМ)

В эксперименте применен волоконный эрбиевый суперлюминесцентный источник оптического излучения (ОИ) (центральная длина волны 1,55 мкм, ширина спектра 25 нм). ОИ вводится через оптический коннектор FC-UPC в образец АОВС. Участок исследуемого АОВС наматывается на испытательную оснастку (рис. 2).

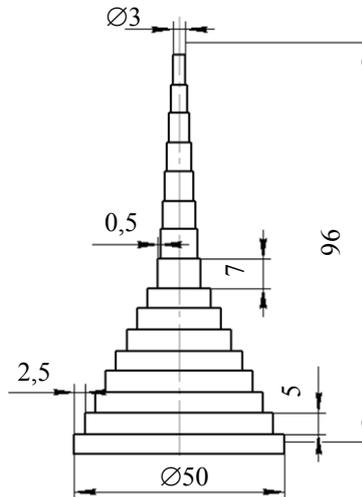


Рис. 2. Испытательная оснастка

Испытательная оснастка позволяет производить намотку волокна с диаметром намотки 3–50 мм. Шаг изменения радиуса составляет 2,5 мм при диаметрах 15–50 мм и 0,5 мм при диаметрах 3–10 мм. Измерения при большем или меньшем диаметрах намотки не проводились, так как при больших диаметрах изменение исследуемых параметров пренебрежимо малы, а при меньших происходит разрушение структуры волокна. Другой конец исследуемого волокна подсоединяется через оптический коннектор к измерителю оптической мощности, погрешность которого составляет ±0,15 дБ.

Для определения относительного изменения величины линейных оптических потерь было измерено значение мощности ОИ, проходящего через исследуемый образец, без его намотки на испытательную оснастку. Данные, полученные в результате измерений значений регистрируемой оптической мощности при различных диаметрах намотки образцов, позволили рассчитать линейные оптические потери исследуемых АОВС по формуле

$$\alpha = \left(10 \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \right) / l_r$$

где α – затухание сигнала, дБ/м; l_r – длина наматываемого участка, м; P_1 и P_0 – поступающие на измеритель мощности после намотки и до нее соответственно, Вт.

На основе рассчитанных значений построены зависимости линейных потерь сигнала на намотанном участке от диаметра последнего. На рис. 3 приведены графики для каждого образца соответственно.

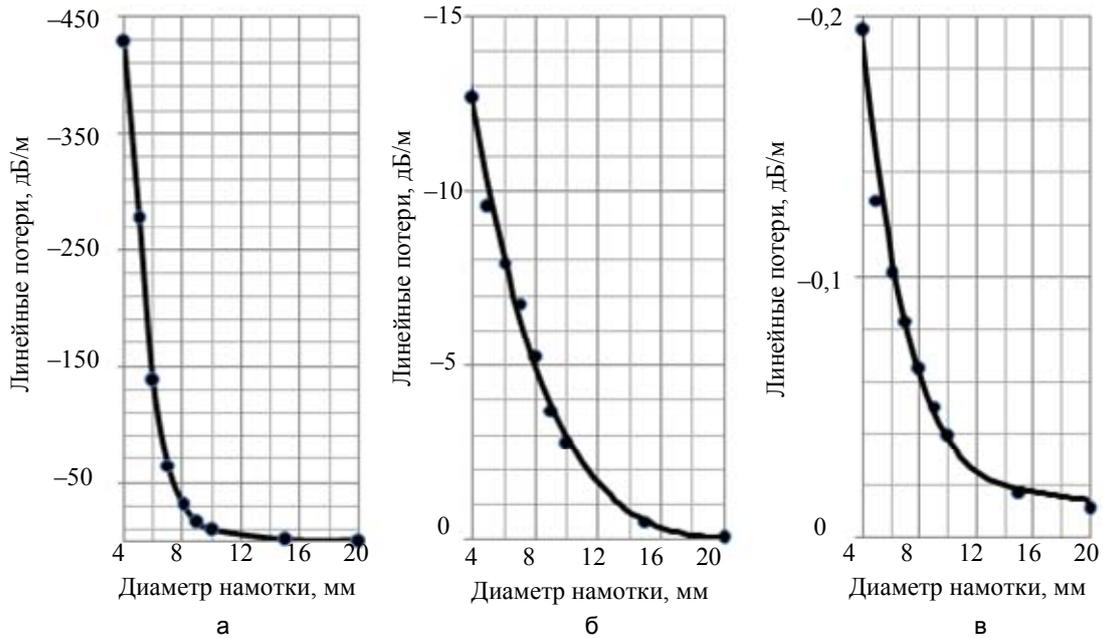


Рис. 3. Зависимости линейных потерь от диаметра катушки для образцов: ESC-4 (а); ESC-SP13 (б); ESC-SP16 (в)

Основным фактором, определяющим потери, является соотношение глубины проникновения поля в оболочку и диаметра катушки, т.е. чем меньше Δl (разница показателей преломления сердцевинки и оболочки), тем дальше заходит в оболочку «экспоненциальный хвост», больше диаметр модового поля [7] и тем большее количество ОИ рассеивается в оболочке [8]. С этой теорией хорошо согласуются полученные зависимости линейных оптических потерь АОВС от диаметра их катушки.

Из таблицы видно, что диаметры сердцевин у исследуемых волокон разные, поэтому радиус кривизны изгиба области локализации ОИ различается, в результате эффект фотоупругости сильнее выражен в волокне с большей сердцевинкой – ESC-4.

Исследование h -параметра

Для измерения h -параметра АОВС была выбрана методика скрещенных поляризаторов [9, 10]. На рис. 4 представлена оптическая схема для измерения h -параметра АОВС в зависимости от диаметра катушки.

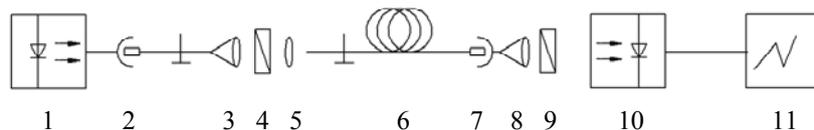


Рис. 4. Схема для измерения h -параметра: 1 – источник излучения; 2, 7 – оптические разъемные коннекторы; 3, 8 – коллиматоры; 4 – поляризатор; 5 – объектив; 6 – исследуемый образец АОВС со сколотым торцом; 9 – анализатор; 10 – фотоприемник; 11 – осциллограф

ОИ от эрбиевого суперлюминесцентного источника ОИ поступает в одномодовое волокно, проходит через коллиматор на поляризатор и через объектив попадает на входной торец исследуемого образца АОВС. Входной торец АОВС устанавливается в зажим, фиксирующий и предотвращающий вращение ОВ. Положение ОВ относительно фокуса объектива регулируется с помощью микропозиционера. ОИ распространяется по участку волокна, намотанному на испытательную оснастку, и с выходного торца АОВС, оконцованного коннектором типа FC-UPC, попадает на коллиматор, а из него на анализатор. Из анализатора ОИ попадает на фотоприемник. Выходной сигнал фотоприемника регистрируется осциллографом.

Изменение напряжения сигнала, регистрируемого с фотоприемника, прямо пропорционально изменению интенсивности ОИ, поступающего на его вход: $\Delta U_{np} \sim \Delta I$. Формула, выражающая значение h -параметра [1], имеет вид

$$\frac{dI_c}{dL} = hI_p \tag{1}$$

где I_p – интенсивность моды с основной входящей поляризацией; I_c – интенсивность перекрестной моды; h – h -параметр; L – длина участка ОВ.

Учитывая (1), получаем

$$h = \psi/L,$$

где ψ – экстинкция,

$$\psi = \frac{U_c - U_{cm}}{U_c + U_p - 2U_{cm}}.$$

Здесь U_{cm} – напряжение смещения фотоприемника, U_p – напряжение, при котором на фотоприемник попадает только возбуждаемая поляризационная мода, а U_c – напряжение, регистрируемое при взаимном расположении поляризаторов, при котором на фотоприемник попадает только поляризационная мода, ортогональная возбуждаемой.

Определение зависимости h -параметра от диаметра катушки АОВС производилось по формуле

$$h_{\text{нам}} = \left(\frac{U_c - U_{cm}}{U_c + U_p - 2U_{cm}} - \psi_{\infty} \right) \frac{1}{l_{\text{нам}}},$$

где ψ_{∞} – экстинкция образца без катушки; $l_{\text{нам}}$ – длина намотанного участка.

На рис. 5 показаны полученные зависимости.

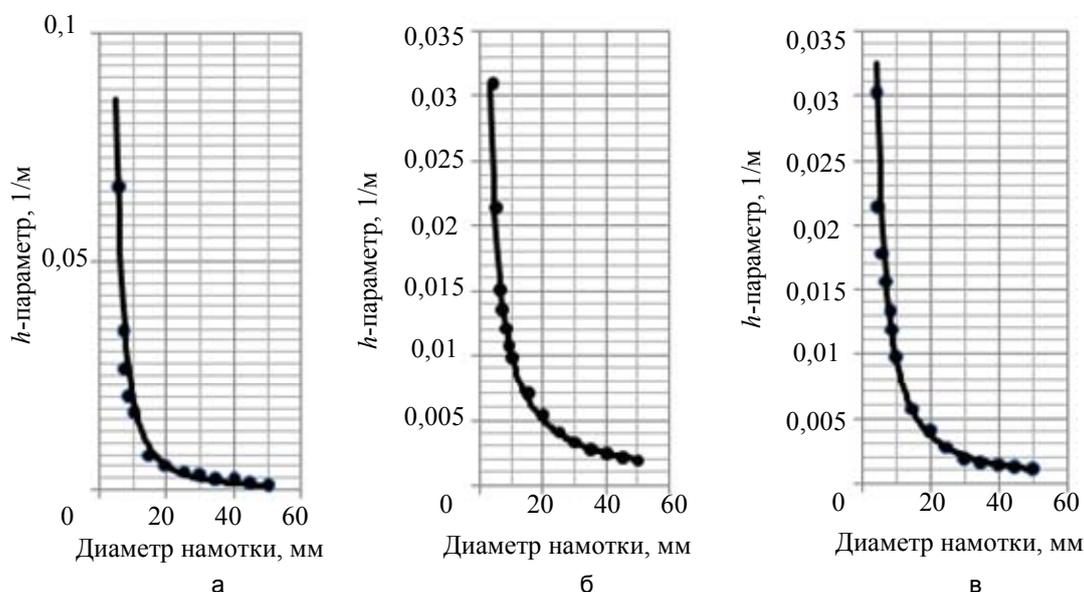


Рис. 5. Графики зависимостей величины h -параметра от диаметра катушки образцов: ESC-4 (а); ESC-SP13 (б); ESC-SP16 (в)

При уменьшении радиуса кривизны изгиба волокна увеличивается влияние эффекта фотоупругости [2]. В результате появления ярко выраженных флуктуаций показателя преломления на длине намотаемого участка волокна наблюдается повышенная перекачка ОИ из основной поляризационной моды в ортогональную. Эти преобразования приводят к увеличению значения h -параметра АОВС. С этим выводом хорошо согласуются полученные зависимости. Измеренные параметры являются усредненными значениями для намотанного участка, так как контроль равномерности распределения механического напряжения и пространственная ориентация эллиптической напрягающей оболочки у образцов в ходе настоящего эксперимента не осуществлялся.

Заклучение

Проведено исследование зависимости линейных оптических потерь и h -параметра трех образцов анизотропных одномодовых волоконных световодов от радиуса катушки. Наименьшими значениями оптических потерь и h -параметра в намотанном состоянии обладает оптическое волокно ESC-SP16. Наиболее существенная разница исследуемых параметров наблюдается при диаметрах катушки меньше 40 мм, на основе чего выработаны рекомендации по допустимым диаметрам изгиба исследуемых анизотропных одномодовых волоконных световодов для волоконно-оптических датчиков интерферометрического типа. Полученные результаты могут служить основой для дальнейшего исследования путей улучшения характеристик анизотропных одномодовых волоконных световодов, а также для расчета конструкций волоконно-оптических датчиков, в которых применяются исследованные виды оптических волокон.

Работа выполнена в НИУ ИТМО при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 02.G25.31.0044).

Литература

1. Lefevre H. The Fiber-Optic Gyroscope. – London: Artech House, 1992. – 313 p.
2. Окоси Т. Волоконно-оптические датчики. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
3. Мешковский И.К., Унтилов А.А., Киселев С.С., Куликов А.В., Новиков Р.Л. Качество намотки чувствительного элемента волоконно-оптического гироскопа // Изв. вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54. – № 7. – С. 76–80.
4. Meshkovskii I.K., Strigalev V.Ye., Deineka G.B., Peshekhonov V.G., Volynskii D.V., Untilov A.A. Three Axis Fiber Optic Gyroscope: Development and Test Results // Gyroscopy and Navigation. – 2011. – V. 2. – № 4. – P. 208–213.
5. Eron'yan M.A. Method of fabricating fiber lightguides that maintain the polarization of the radiation // Russian Patent. – 2000. – № 2. – P. 155–359.
6. Bureev S.V., Dukel'skii K.V., Eron'yan M.A., Komarov A.V., Levit L.G., Khokhlov A.V., Zlobin P.A., Strakhov V.I. Processing large blanks of anisotropic single-mode lightguides with elliptical cladding // J. Opt. Technol. – 2007. – V. 74. – № 4. – P. 297–298.
7. Варламов А.В., Куликов А.В., Стригалева В.Е., Варжель С.В., Аксарин С.М. Определение оптических потерь при стыковке световодов с различным диаметром модового поля // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (84). – С. 23–26.
8. Воронин В.Г., Долгалева К.П., Наний О.Е., Туркин А.Н., Щербаткин Д.Д., Хлыстов В.И. Интегральные потери в элементах волоконно-оптических линий связи. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2000. – 22 с.
9. Котов О.И., Лиокумович Л.Б., Медведев А.В. Интерференционный метод измерения коэффициента экстинкции двулучепреломляющих волоконных световодов // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. – № 5. – С. 102–103.
10. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987. – 616 с.

- Аксарин Станислав Михайлович* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, oskar2002@list.ru
- Архипов Сергей Владимирович* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, thinkingcreature@yandex.ru
- Варжель Сергей Владимирович* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, научный сотрудник, vsv187@gmail.com
- Куликов Андрей Владимирович* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, ассистент, a.kulikov86@gmail.com
- Стригалева Владимир Евгеньевич* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат физ.-мат. наук, профессор, vstrglv@mail.ru

УДК 681.787

СТАБИЛИЗАЦИЯ ФАЗОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛА ФАЗОВОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

А.С. Алейник, И.Г. Дейнека, А.А. Макаренко, М.В. Мехреньгин, В.Е. Стригалева

Проведено программное моделирование фазовой характеристики волоконно-оптического гироскопа в пакете прикладных программ MATLAB. Описан механизм искажения фазовой характеристики волоконно-оптического гироскопа, который заключается в изменении скорости выхода гироскопа на режим, что, в свою очередь, может быть вызвано изменением оптической мощности в системе при изменении температуры окружающей среды. Проведен поиск и теоретический анализ существующих методов стабилизации фазовой характеристики – использования фильтра с бесконечной фазовой характеристикой и программного управления коэффициентом усиления фотоприемного устройства. Установлено, что имеющиеся методы не решают поставленной задачи, так как не устраняют первопричину возникновения искажений фазовой характеристики сигнала волоконно-оптического датчика. Разработан новый метод стабилизации фазовой характеристики сигнала фазового волоконно-оптического датчика. Метод основан на введении нормировки разностей показаний аналого-цифрового преобразователя, несущих полезный сигнал о скорости вращения. Проведено экспериментальное исследование задержек в приборе БИМ-3 при изменении температуры в диапазоне 25–29°C. Результаты исследования показали уменьшение максимальной величины задержки в 4 раза и уменьшение диапазона изменения величины задержки с 280 до 7 мкс при введении нормировки.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, фазовая характеристика, фильтр с бесконечной импульсной характеристикой, нормировка.