



УДК 535.015

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩЕГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА С ОЛОВЯННЫМ ПОКРЫТИЕМ ОТ ДИАМЕТРА НАМОТКИ

В.С. Лавров<sup>а</sup>, А.В. Куликов<sup>а</sup>, А.Б. Мухтубаев<sup>а</sup><sup>а</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: vladimir8812@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию 29.07.17, принята к печати 19.10.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1167-1170

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Лавров В.С., Куликов А.В., Мухтубаев А.Б. Экспериментальное исследование зависимости оптических параметров двулучепреломляющего оптического волокна с оловянным покрытием от диаметра намотки // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 6. С. 1167–1170. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1167-1170

**Аннотация**

Представлены экспериментально полученные зависимости оптических потерь и  $h$ -параметра двулучепреломляющего оптического волокна с оловянным покрытием от диаметра намотки. Оптические потери измерялись методом вносимых потерь,  $h$ -параметр измерялся методом скрещенных поляризаторов. Диаметр намотки менялся от 5 до 35 мм. Определен минимальный допустимый диаметр намотки исследуемого волокна для использования его в опорном плече интерферометрического датчика – 30 мм, при этом оптические потери равны 0,07 дБ на 1 м,  $h$ -параметр равен  $50 \times 10^{-4}$ .

**Ключевые слова**

двулучепреломляющее оптическое волокно,  $h$ -параметр, оптические потери от диаметра намотки, оловянное покрытие

**Благодарности**

Работа выполнена в Университете ИТМО при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Уникальный идентификатор проекта: RFMEFI57815X0109, Соглашение № 14.578.21.0109).

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WINDING DIAMETER EFFECT ON OPTICAL PROPERTIES OF HI-BI FIBER WITH TIN COATING

V.S. Lavrov<sup>а</sup>, A.V. Kulikov<sup>а</sup>, A.B. Mukhtubayev<sup>а</sup><sup>а</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: vladimir8812@mail.ru

**Article info**

Received 29.07.17, accepted 19.10.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1167-1170

Article in Russian

**For citation:** Lavrov V.S., Kulikov A.V., Mukhtubayev A.B. Experimental investigation of winding diameter effect on optical properties of Hi-Bi fiber with tin coating. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 6, pp. 1167–1170 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1167-1170

**Abstract**

The paper presents experimentally obtained dependences of optical losses and  $h$ -parameter of the birefringent optical fiber with tin coating on a winding diameter. The optical losses were measured by insertion loss method, and  $h$ -parameter was measured by orthogonal polarizer method. The winding diameter varied from 5 mm to 35 mm. A minimal acceptable winding diameter of 30 mm was determined for this fiber used as a reference arm in interferometric sensor wherein optical losses are equal to 0.07 dB/m, and  $h$ -parameter is equal to  $50 \times 10^{-4}$ .

**Keywords**

birefringent optical fiber,  $h$ -parameter, bend losses, winding, tin coating

**Acknowledgements**

This work was performed in ITMO University and was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (the unique identifier of the project: RFMEFI57815X0109, Contract No. 14.578.21.0109).

В настоящее время с помощью средств волоконной оптики возможно построение сенсорных систем различных физических величин [1, 2]. Одно из активно развивающихся направлений – создание волоконно-оптических гидроакустических датчиков ВОГД [3]. Одно из направлений – ВОГД на низкие акустические частоты менее 500 Гц, которые могут быть использованы в морских буксируемых и донных сейсмических косах для поиска углеводородов на морском шельфе [4, 5]. Такие ВОГД, как правило, являются интерферометрическими, так как именно такой способ регистрации акустических сигналов позволяет добиться требуемых акустических параметров [6].

Для работы ВОГД интерферометрического типа необходимо обеспечить одинаковое состояние поляризации у двух интерферирующих лучей. Один из способов достижения этого – использование двулучепреломляющих оптических волокон (ДЛП ОВ) [7].

В настоящей работе рассмотрено двулучепреломляющее оптическое волокно с оловянным покрытием. За счет покрытия оловом у него снижена акустическая чувствительность, и оно может быть использовано в качестве опорного плеча для малошумящего интерферометрического датчика [8].

К буксируемым сейсмическим косам предъявляются жесткие требования по внешнему диаметру, а следовательно, опорное плечо интерферометрического датчика должно быть намотано на оправку малого диаметра (менее 40 мм). Из-за малого диаметра намотки в ДЛП ОВ ухудшаются оптические параметры – оптические потери и  $h$ -параметр.

В работе [9] были исследованы зависимости оптических параметров ДЛП ОВ ESC-4. Исследуемое в настоящей работе ДЛП ОВ кварцевой частью повторяет волокно ESC-4, но имеет покрытие, отличающееся механическими и геометрическими параметрами.

Цель настоящей работы – исследовать зависимость оптических потерь и  $h$ -параметра от диаметра намотки ДЛП ОВ с оловянным покрытием и определить минимальный диаметр намотки ДЛП ОВ для использования его в качестве опорного плеча интерферометрического датчика. В качестве исследуемого образца было выбрано ДЛП ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой и оловянным покрытием. На рис. 1 представлена фотография торца кварцевой части исследуемого ДЛП ОВ. В таблице приведены параметры ДЛП ОВ с оловянным покрытием и параметры ДЛП ОВ с акрилатным покрытием.

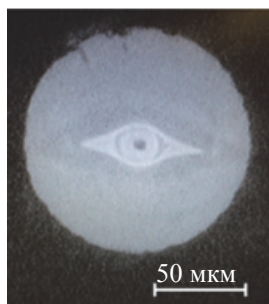


Рис. 1. Фотография торца кварцевой части исследуемого оптического волокна

Оптические потери	не более 2 дБ/км (1,55 мкм)	не более 0,5 дБ/км (1,55 мкм)
$h$ -параметр	не более $1 \times 10^{-4}$ 1/м	не более $6 \times 10^{-6}$ 1/м
Концентрация GeO <sub>2</sub>	4 мол.%	4 мол.%
Диаметр модового поля	7,64 мкм	7,64 мкм
Длина биений	2,25 мм	2,25 мм
Покрытие	Оловянное 10–15 мкм	Акрилатное 62,5 мкм
Диаметр кварцевой части	125 мкм ( $\pm 1$ мкм)	125 мкм ( $\pm 1$ мкм)

Таблица. Параметры оптических волокон

Исследование зависимости оптических потерь ДЛП ОВ ESC-4 с оловянным покрытием проводилось с помощью метода вносимых потерь и проходило следующим образом. К исследуемому образцу с одной стороны был подсоединен источник оптического излучения ( $\lambda = 1550$  нм), а с другой – фотоприемное устройство (ФПУ), при этом было записано значение оптической мощности  $P_n$ , приходящее на ФПУ в отсутствие воздействия, т.е. намотки. Далее исследуемый образец был намотан на различные диаметры специальной оснастки, и для каждого диаметра и длины намотанного волокна записывалась приходящая

на ФПУ оптическая мощность  $P_n$ . Итоговые потери для каждого диаметра оснастки вычислялись по формуле (1):

$$\alpha = 10 \log \left( \frac{P_n - P_n}{L_n} \right), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – оптические потери дБ/м;  $P_n$  – оптическая мощность на фотоприемном устройстве в отсутствии воздействия, а  $P_n$  – при намотке;  $L_n$  – длина намотанного оптического волокна.

Полученная зависимость оптических потерь от диаметра намотки представлена на рис. 2 для ДЛП ОБ ESC-4 с оловянным покрытием, для сравнения приведена зависимость для ДЛП ОБ ESC-4 с акрилатным покрытием.

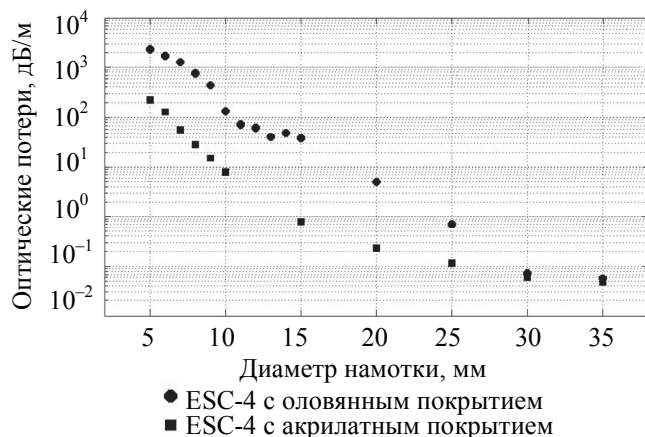


Рис. 2. Зависимость оптических потерь от диаметра намотки

Исследование зависимости  $h$ -параметра исследуемого волокна проводилось в скрещенных поляризаторах и проходило следующим образом.

Линейно поляризованное оптическое излучение ( $\lambda = 1550$  нм) заводилось в оптическую ось ДЛП ОБ. На выходном конце исследуемого образца установлен поляризатор. Вращая ось поляризатора, находили значения максимума  $P_{n0}$  и минимума  $P_{n90}$  оптической мощности, при этом максимум соответствовал разнице углов между оптическими осями поляризатора и ДЛП ОБ  $\Delta\theta = 0^\circ$ , а минимум соответствовал  $\Delta\theta = 90^\circ$ . Для компенсации  $h$ -параметра ненамотанного ДЛП ОБ были измерены  $P_{90}$  и  $P_0$  – минимальное и максимальное значение мощности без воздействия на волокно, т.е. без намотки. Для определения  $h$ -параметра использовалась формула (2).

$$h = \left( \frac{P_{n90} - P_T}{P_{n0} + P_{n90} - 2P_T} - \frac{P_{90} - P_T}{P_0 + P_{90} - 2P_T} \right) \frac{1}{L_n}, \quad (2)$$

где  $P_{90}$  и  $P_0$  – оптическая мощность на ФПУ при  $\Delta\theta = 90^\circ$  и  $\Delta\theta = 0^\circ$  соответственно, на исследуемый образец воздействия не оказывалось;  $P_{n90}$  и  $P_{n0}$  – оптическая мощность на ФПУ при  $\Delta\theta = 90^\circ$  и  $\Delta\theta = 0^\circ$  соответственно, исследуемый образец был намотан на оснастку;  $P_T$  – оптическая мощность на ФПУ, обусловленная темновым током;  $L_n$  – длина намотанного оптического волокна.

Полученная зависимость  $h$ -параметра от диаметра намотки представлена на рис. 3 для ДЛП ОБ ESC-4 с оловянным покрытием, для сравнения приведена зависимость для ДЛП ОБ ESC-4 с акрилатным покрытием.

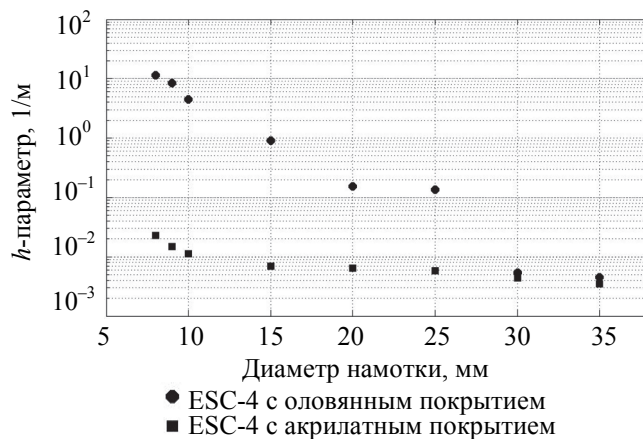


Рис. 3. Зависимость  $h$ -параметра от диаметра намотки

На приведенных зависимостях (рис. 2 и 3) видно, что при диаметрах намотки ДЛП ОБ ESC-4 с оловянным покрытием меньше 30 мм исследуемые оптические характеристики резко ухудшаются, и, соответственно, оптическое волокно, намотанное на меньшие диаметры, уже не может использоваться в качестве опорного плеча компенсационного интерферометра. На диаметрах намотки больше 30 мм дополнительные потери и ухудшение  $h$ -параметра из-за намотки незначительно.

Таким образом, были исследованы зависимости оптических потерь и  $h$ -параметра ДЛП ОБ с оловянным покрытием от диаметра намотки. Определен минимальный диаметр намотки исследуемого волокна при использовании его в качестве опорного плеча интерферометрического датчика, и он составляет 30 мм, при этом дополнительные потери составляют 0,07 дБ на 1 м,  $h$ -параметр равен  $50 \times 10^{-4}$ .

### Литература

1. Окоши Т., Окамото К. Волоконно-оптические датчики. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
2. Удд Э. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. М.: Техносфера, 2008. 520 с.
3. Teixeira J.G.V., Leite I.T., Silva S., Frazao O. Advanced fiber-optic acoustic sensors // *Photonic Sensors*. 2014. V. 4. N 3. P. 198–208. doi: 10.1007/s13320-014-0148-5
4. Cranch G.A., Nash P.J., Kirkendall C.K. Large-scale remotely interrogated arrays of fiber-optic interferometric sensors for underwater acoustic applications // *IEEE Sensors Journal*. 2003. V. 3. N 1. P. 19–30. doi: 10.1109/JSEN.2003.810102
5. Meng Z., Hu Y., Ni M. et al. Development of a 32-element fibre optic hydrophone system // *Proceedings of SPIE*. 2004. V. 5589. P. 114–119. doi: 10.1117/12.577842
6. Бутусов М.М., Галкин С.Л., Оробинский С.П. Волоконная оптика и приборостроение. Л.: Машиностроение, 1987. 328 с.
7. Lavrov V.S., Plotnikov M.Y., Aksarin S.M. et al. Experimental investigation of the thin fiber-optic hydrophone array based on fiber Bragg gratings // *Optical Fiber Technology*. 2017. V. 34. P. 47–51. doi: 10.1016/j.yofte.2017.01.003
8. Гуклович А.В., Плотников М.Ю. Экспериментальное исследование методов снижения чувствительности опорных плеч в волоконно-оптических интерферометрических датчиках // Сб. тезисов докладов конгресса молодых ученых [Электронный ресурс]. СПб.: Университет ИТМО, 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/file/5485/5485.pdf> (дата обращения: 25.10.2017)
9. Аксарин С.М., Архипов С.В., Варжель С.В., Куликов А.В., Стригалева В.Е. Исследование зависимости параметров анизотропных одномодовых волоконных световодов от диаметра намотки // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2013. № 6 (88). С. 22–26.

### Авторы

**Лавров Владимир Сергеевич** – инженер-исследователь, аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [vladimir8812@mail.ru](mailto:vladimir8812@mail.ru)  
**Куликов Андрей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [a.kulikov86@gmail.com](mailto:a.kulikov86@gmail.com)  
**Мухтубаев Азамат Булатович** – инженер-исследователь, аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [mukhtubaev.ab@gmail.com](mailto:mukhtubaev.ab@gmail.com)

### References

1. Okosi T., Okamoto K., Otsu M., Nisihara H., Kuma K., Hatate K. *Fiber-Optic Sensors*. Leningrad, Energoatomidat Publ., 1990, 256 p. (in Russian)
2. *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*. Ed. E. Udd. NY, John Wiley & Sons, 2011, 512 p. doi: 10.1002/9781118014103
3. Teixeira J.G.V., Leite I.T., Silva S., Frazao O. Advanced fiber-optic acoustic sensors. *Photonic Sensors*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 198–208. doi: 10.1007/s13320-014-0148-5
4. Cranch G.A., Nash P.J., Kirkendall C.K. Large-scale remotely interrogated arrays of fiber-optic interferometric sensors for underwater acoustic applications. *IEEE Sensors Journal*, 2003, vol. 3, no. 1, pp. 19–30. doi: 10.1109/JSEN.2003.810102
5. Meng Z., Hu Y., Ni M. et al. Development of a 32-element fibre optic hydrophone system. *Proceedings of SPIE*, 2004, vol. 5589, pp. 114–119. doi: 10.1117/12.577842
6. Butusov M.M., Galkin S.L., Orobinskii S.P. *Fiber Optics and Instrument Making*. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1987, 328 p.
7. Lavrov V.S., Plotnikov M.Y., Aksarin S.M. et al. Experimental investigation of the thin fiber-optic hydrophone array based on fiber Bragg gratings. *Optical Fiber Technology*, 2017, vol. 34, pp. 47–51. doi: 10.1016/j.yofte.2017.01.003
8. Gukovich A.V., Plotnikov M.Yu. Experimental study of methods for sensitivity reducing in support arms of fiber-optic interferometric sensors. *Proc. Congress of Young Scientists*. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2017. Available at: <http://openbooks.ifmo.ru/file/5485/5485.pdf> (accessed: 25.10.2017).
9. Aksarin S.M., Arkhipov S.V., Varzhel' S.V., Kulikov A.V., Strigaleva V.E. Dependence investigation of the anisotropic single-mode fiber parameters on a winding diameter. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 6, pp. 22–26. (In Russian)

### Authors

**Vladimir S. Lavrov** – research engineer, postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [vladimir8812@mail.ru](mailto:vladimir8812@mail.ru)  
**Andrey V. Kulikov** – PhD, Associate Professor, Head of laboratory, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [a.kulikov86@gmail.com](mailto:a.kulikov86@gmail.com)  
**Azamat B. Mukhtubayev** – research engineer, postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [mukhtubaev.ab@gmail.com](mailto:mukhtubaev.ab@gmail.com)