УДК 535

**А.С. Смирнов[1, 2], В.В. Бурдин[1, 2], Ю.А. Константинов[2]**

[1]Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия
[2]Лаборатория фотоники Пермского научного центра
Уральского отделения РАН, Пермь, Россия

# ОБ ОЦЕНКЕ *H*-ПАРАМЕТРА В СОХРАНЯЮЩЕМ ПОЛЯРИЗАЦИЮ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

Рассматривается возможность оценки *h*-параметра в сохраняющем поляризацию оптическом волокне исходя из данных поляризационной рефлектометрии.

**Ключевые слова**: сохраняющие поляризацию волокна, поляризационная рефлектометрия, экстинкция, *h*-параметр.

**A.S. Smirnov[1, 2], V.V. Burdin[1, 2], Iu.A. Konstantinov[2]**

[1]Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation
[2]Photonics Laboratory of Perm Scientific Centre of Ural Branch of Russian
Academy of Sciences, Perm, Russian Federation

# EVALUATION OF POLARIZATION MAINTAINING FIBER *H*-PARAMETER WITH POLARIZATION REFLECTOMETRY

This paper describes a technique of the *h*-parameter estimating of polarization-maintaining optical fiber with the polarization OTDR data.

**Keywords**: polarization-maintaining fibers, P-OTDR, extinction, *h*-parameter.

## 1. Введение

Для применения оптических волокон, сохраняющих состояние введенного линейно-поляризованного излучения, важно знать распределение поляризационных параметров по длине волокна. В работах [1, 2] приводится описание метода, основанного на поляризационной рефлектометрии, который позволяет осуществлять локализацию областей связи поляризационных мод, а также производить оценку величины этой свя-

зи. Часто величину связи поляризационных мод определяют через так называемый *h*-параметр, который устанавливает относительную долю мощности (или интенсивности), перешедшую из одной поляризационной моды в ортогональную на единице длины волокна [3]. В настоящей работе рассматривается возможность оценки *h*-параметра в сохраняющем поляризацию оптическом волокне на основе данных поляризационной рефлектометрии.

## 2. Эксперимент

Для реализации метода, описанного в работах [1, 2], необходимо записать поляризационные рефлектограммы при возбуждении линейно-поляризованным излучением только одной поляризационной моды, а также и при равномерном возбуждении обеих поляризационных мод в световоде (рис. 1).

В измерительной схеме был применен рефлектометр Photon Kinetics PK8000 (используемая длина волны 1550 нм, спектральная ширина источника излучения 4,7 нм, динамический диапазон 30 дБ). Для ориентирования линейно-поляризованного излучения, полученного после прохождения поляризатора, был применен измеритель поляризационной экстинкции (Santec PEM-330, спектральный диапазон 1260–1630 нм, ошибка определения коэффициента поляризационной экстинкции не превышает 0,3 дБ), размещенный на другом конце исследуемого волокна.

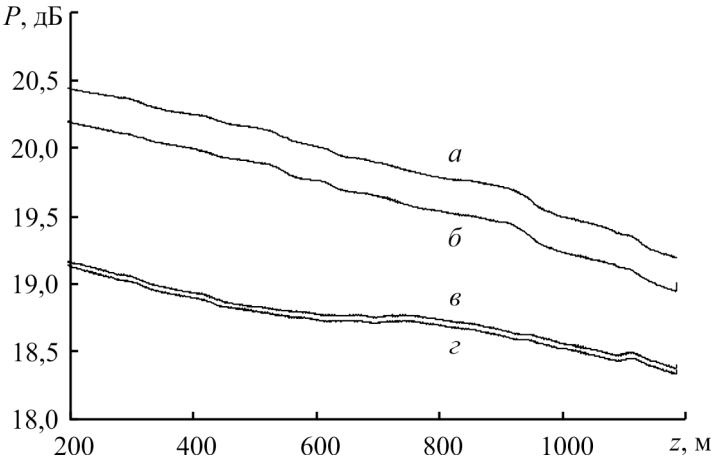


Рис. 1. Поляризационные рефлектограммы, снятые при возбуждении только одной поляризационной моды (*а*, *б*) и при равномерном возбуждении обеих мод (*в*, *г*)

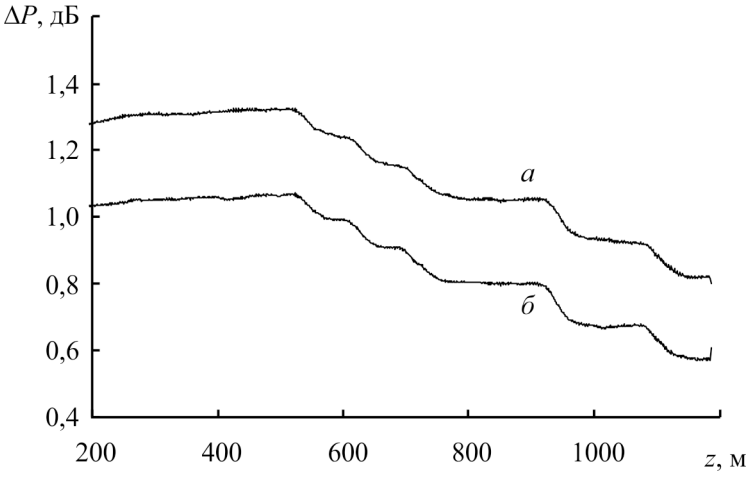


Рис. 2. Разность поляризационных рефлектограмм

Сам коэффициент поляризационной экстинкции образца волокна определяется как величина максимального отношения интенсивностей поляризационных компонент на выходе волокна при возбуждении на входе только одной поляризационной моды волокна широкополосным источником и поляризатором [4]. В качестве входного поляризатора использовался поляризатор интегрально-оптического типа на подложке из ниобата лития с вклеенными волоконными концами (коэффициент поляризационной экстинкции 32,5 дБ), широкополосный источник – Exfo FLS-2300B (эффективная ширина спектра 20 нм).

## 3. Теоретическое обоснование

Обозначим $\alpha$ и $\alpha_0$ – измеряемые рефлектометром распределенные коэффициенты затухания при возбуждении одной поляризационной моды (рис. 1, *а*, *б*) и при равномерном возбуждении обеих поляризационных мод в световоде (рис. 1, *в*, *г*) соответственно. Тогда $\alpha < \alpha_0$ (в случае одинаковых условий ввода излучения), так как в случае ввода излучения, поляризованного вдоль одной из осей двулучепреломления, поляризатор на входе волокна не пропускает ту часть отраженного излучения, которая перекачалась в ортогональную моду. Этим объясняются дополнительные потери $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$, экспериментально регистрируемые рефлектометром (рис. 2).

Если дополнительные потери $\Delta\alpha$ связаны с перекачкой мощности между ортогональными модами, то они должны коррелировать

с *h*-параметром волокна. Рассмотрим это подробнее. Пусть в оптическое волокно введено линейно-поляризованное излучение с ориентацией вектора напряженности электрического поля вдоль одной из осей двулучепреломления *x*. Мощность излучения на входе световода длины $L$ – $P_0$, мощность излучения на выходе из световода – *P*. Тогда

$$10\lg\frac{P_0}{P}=\alpha_0 L, \tag{1}$$

где $\alpha_0$ – коэффициент затухания, дБ/км.

Поскольку часть излучения перекачивается в моду с ориентацией вектора напряженности вдоль оси *y*, мощность излучения на выходе $P=P_x+P_y$. Тогда из формулы (1) следует:

$$10\lg\frac{P_0}{P_x+P_y}=10\lg\left(\frac{P_0}{P_x}\cdot\frac{P_x}{P_x+P_y}\right)=10\lg\frac{P_0}{P_x}+10\lg\frac{P_x}{P_x+P_y}=\alpha_0 L. \tag{2}$$

Величина $10\lg P_0/P_x$ представляет собой величину $\alpha L$, где $\alpha$ – коэффициент затухания, измеряемый рефлектометром, поскольку поляризатор на входе волокна не пропускает отраженное излучение, поляризованное вдоль оси *y*. Из формулы (2) получаем:

$$\alpha L+10\lg\frac{P_x}{P_x+P_y}=\alpha_0 L \tag{3}$$

или

$$\Delta\alpha L=-10\lg\frac{P_x}{P_x+P_y}, \tag{4}$$

где $\Delta\alpha$ – дополнительные потери при возбуждении одной поляризационной моды относительно потерь при равномерном возбуждении обеих мод, $\Delta\alpha=\alpha-\alpha_0$.

Из (4) следует:

$$\Delta\alpha L=-10\lg\left(1-\frac{P_y}{P_x+P_y}\right).$$

Отсюда получаем:

$$\frac{P_y}{P_x+P_y}=1-10^{-\frac{\Delta\alpha\cdot L}{10}}. \tag{5}$$

Как известно, величина *h*-параметра определяется из уравнения [5]

$$\frac{P_y}{P_x + P_y} = \frac{1}{2}\left(1 - e^{-2h \cdot L}\right). \qquad (6)$$

Таким образом,

$$1 - 10^{-\frac{\Delta\alpha \cdot L}{10}} = \frac{1}{2}\left(1 - e^{-2h \cdot L}\right). \qquad (7)$$

Решая уравнение (7), находим величину *h*-параметра.

В таблице представлены значения *h*-параметра, определенные и рассчитанные по формуле (7).

Характеристики исследованных образцов

| Образец | Длина *L*, м | Разность затуханий $\Delta\alpha L$, дБ | *h*-параметр, определенный стандартным* методом, $10^{-5}$ м$^{-1}$ | *h*-параметр, рассчитанный из (7), $10^{-5}$ м$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1186 | 0,56 | 7,34 | 10,20 |
| 2 | 1190 | 0,36 | 5,42 | 6,69 |
| 3 | 1086 | 0,11 | 1,79 | 2,30 |
| 4 | 1194 | 0,45 | 6,65 | 8,24 |
| 5 | 1092 | 0,08 | 1,74 | 1,67 |

*Из величины поляризационной экстинкции и длины $L$ по формуле (6).

В большинстве случаев значения *h*-параметра, рассчитанные исходя из величины $\Delta\alpha L$, регистрируемой рефлектометром на основании обратно рассеянного излучения, превышают реальные значения *h*-параметра на 20–40 %. Это свидетельствует о том, что отраженное назад излучение содержит большую долю мощности $P_y$ поляризационной моды с ориентацией вдоль оси $y$ по сравнению с излучением, распространяющимся по световоду в прямом направлении. Возможно, изменение степени поляризации излучения связано с дефектами, имеющими френелевскую природу. Таким образом, при отражении излучения от различных неоднородностей часть мощности из одной поляризационной моды переходит в ортогональную поляризационную моду, хотя в целом излучение остается преимущественно поляризованным вдоль оси *x*.

## 4. Выводы

Установлена связь между величиной дополнительных поляризационных потерь $\Delta\alpha$ и *h*-параметром световода. Проведена оценка

*h*-параметра световода исходя из поляризационных рефлектометрических измерений. Показано, что при отражении от неоднородностей световода поляризованное излучение остается преимущественно поляризованным в той же моде. Предложенный метод можно рассматривать как альтернативный стандартному методу измерения *h*-параметра, т.е. без измерения величины поляризационной экстинкции, вводя линейно поляризованное излучение в исследуемое волокно методом, предложенным в работе [6]. Несмотря на меньшую точность, метод имеет явное преимущество – сведения о распределении связи поляризационных мод.

## Список литературы

1. Детектирование и локализация дефектов сохранения поляризации в анизотропном волоконном световоде / В.В. Бурдин, Ю.А. Константинов, В.П. Первадчук, А.С. Смирнов // Квантовая электроника. – 2013. – № 43. – С. 531–534.

2. Рефлектометрический метод оценки взаимодействия поляризационных мод в анизотропных оптических волоконах / В.В. Бурдин, Ю.А. Константинов, В.П. Первадчук, А.С. Смирнов // Фотон-экспресс-наука 2013 № 6: тез. докл. 4-й Всерос. конф. по волоконной оптике (Пермь, 16–18 октября 2013 г.). – Пермь, 2013. – С. 173.

3. Lefevre H.C. The Fiber-Optic Gyroscope. – Artech House Optoelectronics Library, 1993.

4. Sezerman O., Best G. Accurate alignment preserves polarization // Laser Focus World. – 1997.

5. Дмитриев А.Л. Оптические системы передачи информации: учеб. пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. – 96 с.

6. Константинов Ю.А. Солдатов П.Н., Смирнов А.С. Методика ввода поляризованного излучения в оптическое волокно типа «Панда» для исследования методами поляризационной рефлектометрии // Фотон-экспресс-наука 2013 № 6: тез. докл. 4-й Всерос. конф. по волоконной оптике (Пермь, 16–18 октября 2013 г.). – Пермь, 2013. – С. 308.

## References

1. Burdin V.V., Konstantinov Iu.A., Pervadchuk V.P., Smirnov A.S. Detektirovanie i lokalizatsiia defektov sokhraneniia poliarizatsii v anizotropnom volokonnom svetovode [A technique for detecting and locat-

ing polarisation nonuniformities in an anisotropic optical fibre]. *Kvantovaia elektronika*, 2013, no. 43, pp. 531-534.

2. Burdin V.V., Konstantinov Yu.A., Pervadchuk V.P., Smirnov A.S. Reflektometricheskii metod otsenki vzaimodeystviia polyarizatsionnykh mod v anizotropnykh opticheskikh voloknakh [A reflectometric technique for estimation polarization-crosstalk in anisotropic optical fiber]. *Tezisy dokladov chetvertoi Vserossiiskoi konferentsii po volokonnoi optike "Foton-ekspress-nauka" 2013 no. 6*. Perm, 2013, pp. 173.

3. Lefevre H.C. The Fiber-Optic Gyroscope. Artech House Optoelectronics Library, 1993.

4. Sezerman O., Best G. Accurate alignment preserves polarization. *Laser Focus World*, 1997.

5. Dmitriiev A.L. Opticheskiie sistemy peredachi informatsii [Optical systems for data transmission]. St-Petersburg: Sankt-Peterburgskii natsional'nyi issledovatel'skii universitet informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki, 2007.

6. Konstantinov Yu.A., Soldatov P.N., Smirnov A.S. Metodika vvoda poliarizovannogo izlucheniia v opticheskoye volokno tipa "Panda" dlia issledovaniia metodami poliarizatsionnoi reflektometrii [A technique for coupling polarized radiation into Panda-type optical fiber for P-OTDR]. *Tezisy dokladov chetvertoi Vserossiiskoi konferentsii po volokonnoi optike "Foton-ekspress-nauka" 2013 no. 6*. Perm, 2013, pp. 308.

Получено 15.10.2014