

УДК 535.345.633.39

Я.С. Кузьминых, В.С. ПостниковПермский национальный исследовательский
политехнический университет**ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ
ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА ТИПА PANDA ПРИ ВНЕШНИХ
МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

Работа посвящена исследованию воздействия внешних механических и температурных факторов на стабильность параметров волоконного световода типа PANDA, используемого в когерентных коммуникационных системах и интерферометрических датчиках. Исследования проводились в условиях производственного эксперимента с использованием метода факторного анализа и рефлектометрии. Для факторного анализа была применена четырехфакторная модель первого порядка. В качестве параметра оптимизации использовали критерий способности сохранять поляризацию при прохождении излучения по оптическому волокну – коэффициент экстинкции (h -параметр). С помощью импульсной рефлектометрии было исследовано затухание сигнала в волокне, позволяющее учесть величину абсолютного натяжения волокна.

Исследованиями установлено, что в интервале эксплуатационных температур (0–40 °С) температурный фактор не оказывает заметного влияния на параметры поляризации излучения в волокне. Исследования влияния длины волокна, натяжения и диаметра принимающей катушки на величину коэффициента экстинкции показали, что наиболее значимыми факторами являются диаметр катушки и длина волокна. Также установлено, что большое значение имеют изгибные деформации в волокне, которые являются преобладающим фактором потери мощности в волокне. Увеличение диаметра принимающей катушки уменьшает величину изгибных деформаций. Анализ рефлектограмм показывает, что переход при намотке с одного слоя на другой приводит к скачкообразному изменению параметров рассеяния излучения. По результатам исследований даны рекомендации по корректировке технологического процесса перемотки оптического волокна.

Ключевые слова: оптические волокна, волоконные датчики, коэффициент экстинкции, многофакторный эксперимент, параметрическая модель, температурный фактор, натяжение, рефлектометрия.

Ya.S. Kuzminykh, V.S. Postnikov

Perm National Research Polytechnic University

**RESEARCH OF PARAMETERS STABILITY OF AN OPTICAL
FIBER OF PANDA TYPE UNDER EXTERNAL MECHANICAL
AND TEMPERATURE INFLUENCES**

Work is devoted to research of influence of external mechanical and temperature factors on parameters stability of a optical fiber of PANDA type used in coherent communication systems and interferometric gauges. Researches were spent in the conditions of industrial experiment with use of

a method of the parametric analysis and reflectometry. The four-factor model of the first order has been applied to the parametric analysis. In the capacity of optimisation parametres used criterion of ability to preserve polarisation in the time of passage of radiation longwise of optical fibre - extinction factor (h -parametre). By means of pulsed reflectometry has been investigated a signal attenuation in a fibre, which make it possible to consider size of an absolute tension of a fibre.

By researches it is established that in the range of operational temperatures (0–40 °C) the temperature factor does not exert an appreciable impact on parametres of polarisation of radiation in a fibre. Researches of influence of length of a fibre, tension and diameter of the accepting coil on the extinction coefficient have shown that the most significant factors are diameter of the coil and length of a fibre. Also it is established that bending deformations in a fibre have great value and that are the prevailing factor of loss of power in a fibre. The increase in diameter of the accepting coil decrease a size of bending deformations. The analysis of reflectogram is show's that transition from one layer of spooling to another layer leads to abrupt change of parametres of dispersion of radiation. On the basis of results of researches are made recommendations about updating of technological process of rewind of an optical fibre.

Keywords: optical fiber, fiber-optical sensors, factor of optical extinction, multifactorial experiment, parametric model, temperature factor, tension, reflectometry.

Оптическое волокно типа PANDA используется во многих случаях, когда необходим контроль поляризации, например в когерентных коммуникационных системах и интерферометрических датчиках [1–3]. Состояние поляризации является критическим по отношению к высоким скоростям передачи информации. В обычных волокнах контролировать направление поляризации на выходе волокна практически не представляется возможным [4, 5]. Оптическое волокно, сохраняющее состояние поляризации, обычно используется для изготовления волоконных гироскопов и в сфере телекоммуникаций для передачи линейно поляризованного света от точки к точке. Критерием способности сохранять поляризацию при прохождении излучения по оптическому волокну является коэффициент экстинкции (h -параметр). На значения h -параметра влияют различные факторы, некоторые из которых (например, вариации геометрии световода, возникающие при вытяжке) сложно или практически невозможно смоделировать или предсказать.

Волокна типа PANDA также имеют много специализированных вариантов применения в оптических датчиках, в телекоммуникационных и сенсорных исследованиях. В некоторых устройствах свет намеренно запускают таким образом, чтобы электрическое поле проецировалось в равной степени на быстрые и медленные оси [6]. В этом случае выходное состояние поляризации очень чувствительно к длине волны, температуры и механических напряжений, что предполагает возможность создания множества вариантов датчиков на их основе [7, 8].

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния температуры и технологических факторов (натяжение при перемотке, диаметр приемной катушки, длина волокна) на процессы затухания

сигнала в волокне. Исследования проводились в рамках многофакторного эксперимента [9], в котором параметром оптимизации являлся h -параметр. Измерение процессов затухания сигнала (на длинах волн излучения 1550 и 1310 нм) в волоконном световоде проводилось на бриллюэновском рефлектометре PK8000 OM. Измерение параметра сохранения поляризации (h -параметр) волоконного световода осуществлялось с помощью экстинометра, влияние температуры на оптические характеристики оценивали с помощью термодата.

Для проведения факторного эксперимента была выбрана параметрическая модель, реализация которой осуществлялась в два этапа:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{14}x_1x_4 + a_{23}x_2x_3 + a_{24}x_2x_4 + a_{34}x_3x_4 + a_{123}x_1x_2x_3 + a_{124}x_1x_2x_4 + a_{134}x_1x_3x_4 + a_{234}x_2x_3x_4 + a_{1234}x_1x_2x_3x_4, \quad (1)$$

где x_1 – x_3 – факторы оптимизации; x_1 – натяжение, $x_1 = 7...15$ г; x_2 – температура, $x_2 = 0...40$ °С; x_3 – длина волокна, $x_3 = 100...300$ м; x_4 – диаметр принимающей катушки, $x_4 = 40...100$ мм.

На первом этапе был проведен трехфакторный эксперимент при постоянном натяжении ($x_1 = \text{const}$). По результатам эксперимента было получено уравнение регрессии

$$y = 223,4 - 3,4x_2 - 37,8x_3 + 27,6x_4 + 1,4x_2x_3 + 4,4x_2x_4 + 16,4x_3x_4 - 1,6x_2x_3x_4. \quad (2)$$

Анализ этого уравнения показывает, что из трех исследованных факторов температура является наименее значимым фактором (в этом интервале температур). Коэффициент регрессии при этом факторе на порядок меньше коэффициентов регрессии при двух остальных факторах. То же самое можно сказать и о корреляционных коэффициентах (a_{23} , a_{24} , a_{234}). По этой причине температурный фактор (в этом интервале температур) из дальнейших исследований можно исключить.

На втором этапе эксперимента варьировалось натяжение при намотке, длина волокна и диаметр приемной катушки. По результатам эксперимента было получено уравнение

$$y = 221,8 - 1,8x_1 - 28,2x_3 + 23,6x_4 - 8,2x_1x_3 + 8,4x_1x_4 + 13,2x_3x_4 - 0,2x_1x_3x_4. \quad (3)$$

Анализ этого уравнения показывает, что в исследованном интервале само натяжение не имеет сильного влияния, но коэффициенты со-

вместного влияния (a_{13} , a_{14} , a_{34}) одного порядка с достаточно весомой значимостью. Отрицательное значение коэффициента a_{13} показывает, что при увеличении длины волокна в волокне накапливаются напряжения, что хорошо согласуется с данными рефлектометрии. Положительное значение коэффициента a_{14} можно объяснить большой значимостью коэффициента a_3 , так как увеличение диаметра катушки снижает изгибные потери мощности в волокне. Значение и знак коэффициента a_{34} свидетельствует о том, что превалирующим фактором является потеря мощности при деформации волокна. Сама по себе нагрузка (в этом интервале натяжений) влияет не сильно, гораздо большее значение имеет ее неравномерность.

Рефлектограммы показывают, что при переходе с одного слоя намотки на другой происходит увеличение напряжения в волокне (рисунок). Это напряжение связано с изменением линейной скорости движения волокна в процессе намотки, поскольку каждый слой на катушке увеличивает диаметр намотки, а возрастание скорости намотки вызывает большее по величине натяжение волокна, что и приводит к возрастанию напряжений.

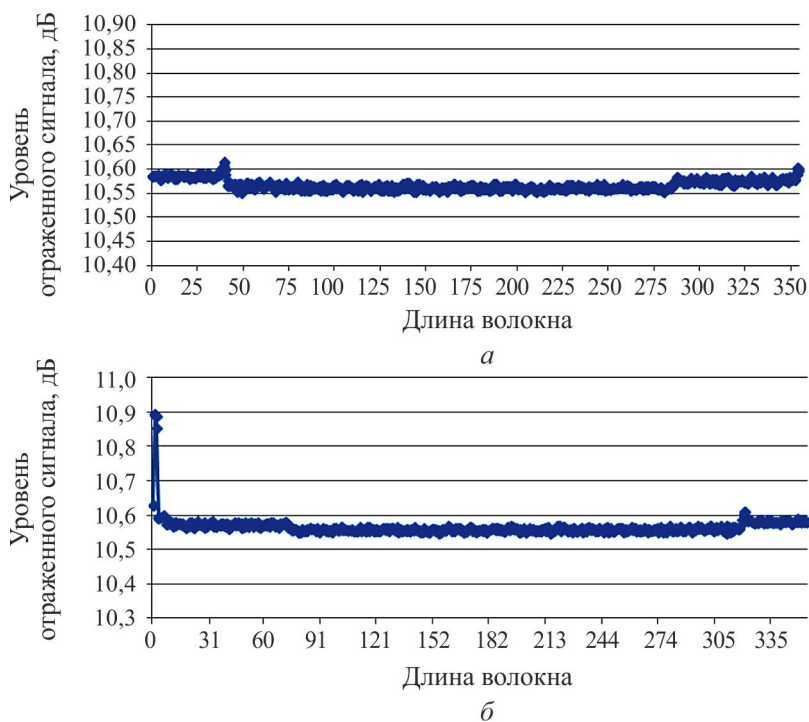


Рис. Рефлектограммы намотанного на катушку волокна:
a – измерения с внешнего конца; *б* – измерения с внутреннего конца.
 Длина волокна измеряется в условных единицах

Для обеспечения равномерности натяжения волокна при намотке линейная скорость движения волокна должна быть постоянной. В этом случае угловая скорость вращения катушки должна меняться по закону

$$\omega(n) = \omega_0 \frac{D}{D + nd}, \quad (4)$$

где D – диаметр катушки; d – диаметр волокна; n – номер слоя; ω_0 – начальная угловая скорость намотки.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В исследованном интервале температур температура не оказывает значительного влияния на параметры оптического волокна.

2. Наиболее значимыми факторами являются диаметр катушки и длина волокна, поскольку установлено, что по мере намотки волокна на катушку в волокне накапливаются напряжения.

3. Большое значение играют изгибные деформации, которые являются основным фактором, вызывающим потери мощности в волокне.

4. В процессе послойной намотки волокна на катушку в волокне формируется неоднородно напряженное состояние, что связано с возрастанием напряжений при переходе от одного слоя к другому.

Список литературы

1. Гроднев И.И., Ларин Ю.Т., Теумин И.И. Оптические кабели: конструкции, характеристики, производство и применение. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с.

2. Жилин В.Г. Волоконно-оптические измерительные преобразователи скорости и давления. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 111 с.

3. Бурков В.Д., Иванов Г.А. Физико-технологические основы волоконно-оптической техники: учеб. пособие. – М., 2007. – 222 с.

4. Derickson D. Fiber Optic Test and Measurement. – Prentice Hall, 1998. – 642 p.

5. Kim J., Buerli R. An evaluation of polarization-dependent loss-characterization methods // Lightwave. – 2000. – August, Vol. 17, no. 9. – P. 156–162.

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

7. Волоконно-оптические датчики: пер. с япон. / Т. Окоси [и др.]. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-е, 1990. – 256 с.

8. Бусурин В.И., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 40–41.

9. Джашеев К.А.-М., Джашеева З.А.-М. Монограммный метод анализа результатов многофакторного эксперимента // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 8. – С. 19–28.

Получено 10.11.2014

Постников Валерий Сергеевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Общая физика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: postnikovvs@yandex.ru

Кузьминых Янина Сергеевна (Пермь, Россия) – студентка, кафедры «Общая физика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: yaninakuzm@gmail.com

Postnikov Valery (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Docent, Department “General Physics”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: postnikovvs@yandex.ru

Kuzminyh Yanina (Perm, Russian Federation) – Student, Department “General Physics”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: yaninakuzm@gmail.com