

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ АПЕРТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН МАЛОЙ ДЛИНЫ© 2011 В. Д. Паранин¹, М. В. Дашков²¹ Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)² Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

В работе проведено экспериментальное исследование апертурных характеристик отрезков одно- и многомодовых телекоммуникационных оптических волокон на длинах волн 655...690 нм. Отмечено распространение мод низших порядков в волокне Corning SMF-28e и возможность модового уплотнения короткой линии связи. Установлено распространение оптического излучения по оболочке отрезков оптических волокон.

Оптическое волокно, апертурные характеристики, модовый состав.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) нашли широкое применение в информационных системах: телекоммуникационных, вычислительных, промышленных [1,2]. В телекоммуникациях наиболее интенсивно используется инфракрасный диапазон длин волн 820...880, 980, 1260...1675 нм, что связано с минимальным коэффициентом затухания кварцевых оптических волокон в этой области, около 0,2 – 3,0 дБ/км [1-4]. Протяженность ВОЛС составляет от нескольких километров на городских сетях до сотен и тысяч километров на магистральных участках сетей связи. Промышленностью также освоен выпуск одно- и многомодовых волокон для ультрафиолетового и видимого диапазона длин волн [3, 4], однако высокий уровень затухания препятствует применению данного типа волокон в промышленных и телекоммуникационных системах. Наряду с системами на основе протяженных ВОЛС существуют системы, требующие передачи оптической энергии на относительно небольшие расстояния, порядка единиц – десятков метров. В качестве примера можно указать на бортовые информационно-управляющие системы [5], внешние электрооптические дифракционно-интерференционные модуляторы для источников оптического излучения [6, 7], технологические волоконные лазеры [8]. При таких длинах волокон затухание в стандартных волокнах будет составлять не более 0,15...0,20 дБ в видимом и

ближнем инфракрасном диапазонах. Это обстоятельство позволяет расширить возможности спектрального уплотнения канала, реализовать функциональные электрооптические элементы, интегрированные в ВОЛС. Данная работа направлена на экспериментальное исследование апертурных характеристик стандартных волокон инфракрасного диапазона при работе в видимом диапазоне длин волн, в частности, на длинах волны 655...690 нм. Выбор рабочих длин волн обусловлен наличием известных зависимостей электрооптических коэффициентов в этом диапазоне [9, 10], что необходимо для корректного проектирования функциональных электрооптических элементов и устройств.

В эксперименте исследовалось кварцевое одномодовое волокно Corning SMF-28e с диаметром сердцевины 8,2 мкм, номинальным диаметром 125 мкм и кварцевое многомодовое волокно Corning Multimode 50/125 с диаметром сердцевины 50 мкм, номинальным диаметром оболочки 125 мкм. Длина образцов составляла 0,5 м, при проведении исследования волокна находились в свободном (не скрученном) состоянии. Концы волокон очищались от внешнего защитного покрытия на длину 15 мм, после чего производилось скалывание. Скол оптических волокон под углом $90 \pm 0.5^\circ$ осуществлялся на устройстве Fujikura CT-30A. Качество скола торца контролировалось визуально с помощью микроинтерферометра МИИ-4 при уве-

личении 500х. Волокна, на торцах которых присутствовали значительные, размером десятки микрометров, царапины и выколки, трещины, боковые сколы (рис.1,а,б,в), отбраковывались.

В качестве источника оптического излучения использовался лазерный диод HL6738MG с пиковой длиной волны 690 нм и шириной спектра 1,7...2,0 нм, а также светодиод АЛ336Б, излучающий в диапазоне 655...680 нм. В качестве приёмника излучения использовалась цифровая ПЗС-камера VAI-135, чувствительная в области длин волн 400...1100 нм по уровню 0,1. Излучение вводилось в приёмный торец оптического волокна с помощью плоско-выпуклой линзы с фокусным расстоянием 25 мм. Выходной торец волокна перемещался относительно ПЗС-

матрицы с помощью микрометра МК 50-25 (1 класс) с ценой делений 10 мкм в пределах 0..1000 мкм с шагом 200 мкм. Момент касания выходного торца поверхности ПЗС-матрицы контролировался визуально по изгибу волокна (грубо), а также с помощью изображения на экране (точно). Наличие шумов ПЗС-матрицы устранялось среднеквадратической аппроксимацией.

На рис.2, 3 представлено распределение интенсивности на выходе одномодового волокна для случая освещения лазерным диодом (рис.2,а,б) и светодиодом (рис.3). Кривые с наибольшей интенсивностью характерны для установки выходного торца вплотную к ПЗС-матрице. Расстояние между соседними положениями волокна составляет 200 мкм.

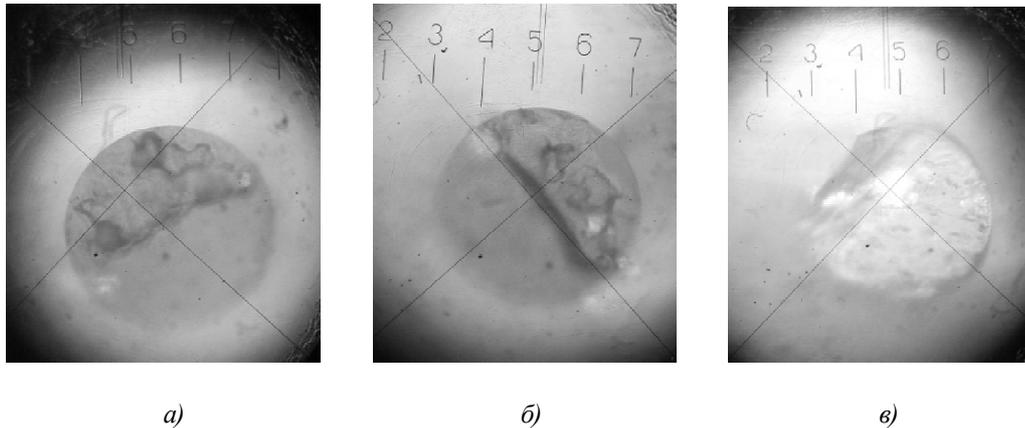


Рис. 1. Примеры торцов отбракованных оптических волокон: а) значительные царапины и сколы на торце; б) трещина на торце; в) боковой скол волокна

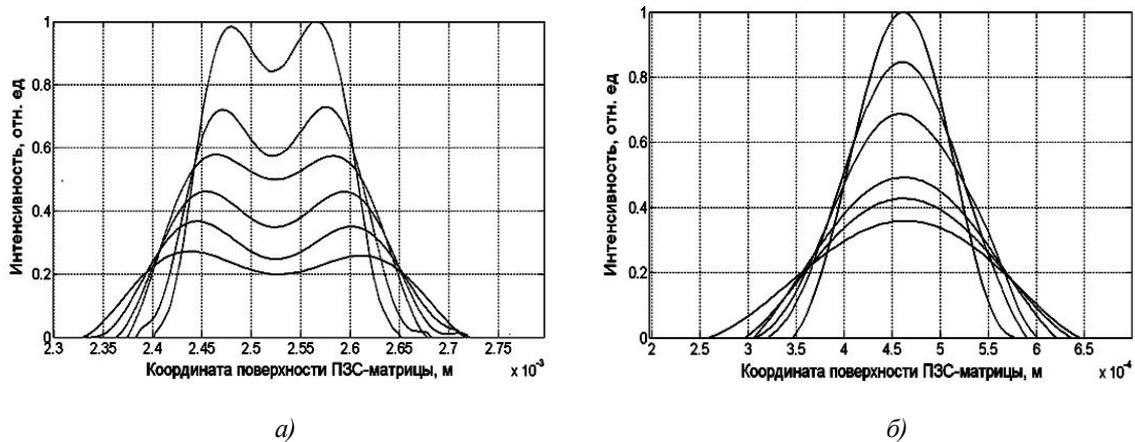


Рис. 2. Распределение интенсивности света на выходе одномодового оптического волокна при освещении лазерным диодом: а) расстояние от линзы до торца 50 мм; б) расстояние от линзы до торца 25 мм

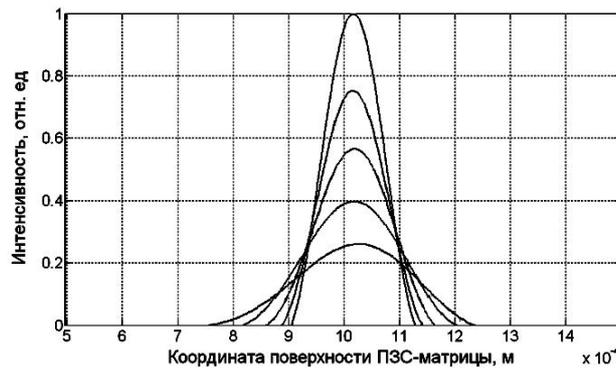


Рис. 3. Распределение интенсивности света на выходе одномодового оптического волокна при освещении светодиодом АЛ336Б (расстояние от линзы до торца 25 мм)

В соответствии с данными рис.2,а в распределении интенсивности на выходе одномодового волокна имеется провал в центральной части, углубляющийся при удалении торца от ПЗС-матрицы. Данный эффект может быть связан с различными углами высвечивания мод оптического волокна, что открывает возможности углового модового уплотнения. Для случая освещения светодиодом (рис.3) распределение интенсивности имеет единственный максимум и может быть описано экспоненциальными функциями Гаусса. Отдельные моды в волокне при использовании светодиодного источника не наблюдались. Это может быть связано с меньшей когерентностью по сравнению с лазерным диодом и большей шириной спектра, обуславливающей перекрытие мод на выходе волокна. Ширина освещенной области по уровню $1/e$ при установке выходного торца вплотную к ПЗС-матрице составила 175...178 мкм для освещения лазерным дио-

дом и 150...155 для освещения светодиодом. Это означает, что в обоих случаях эффективное распространение оптического излучения происходит не только по сердцевине, но и по оболочке волокна. Выявлено, что при перемещении входного торца ОВ относительно фокусирующей линзы в фокальной плоскости по осям x и y в приёмнике излучения, сопряженном с выходным торцом ОВ, формируется многомодовая картина, число мод в которой зависит от параметра перемещения и типа источника излучения.

На рис.4 приведены некоторые распределения интенсивности на выходе волокна, полученные указанным образом. Размеры областей равны 1x1 мм.

Необходимо отметить, что приведенные на рис.4 распределения интенсивности являются известными модами низшего порядка [11]. Так, изображение на рис.4,а соответствует $HE_{12} + EH_{11}$ моде, рис.4,б — HE_{31} моде, рис.4,в — их сочетанию.

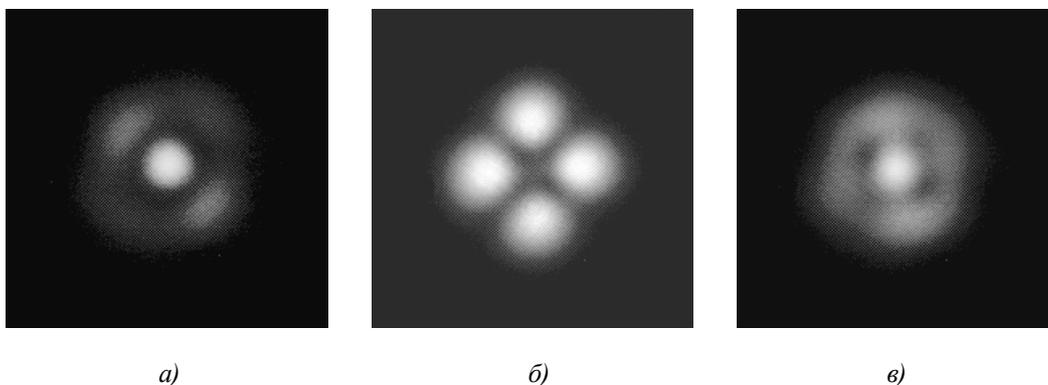
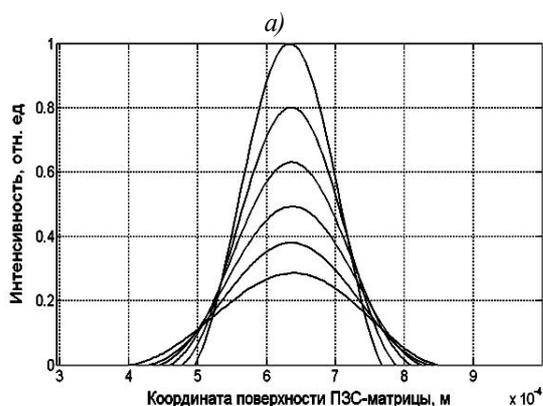
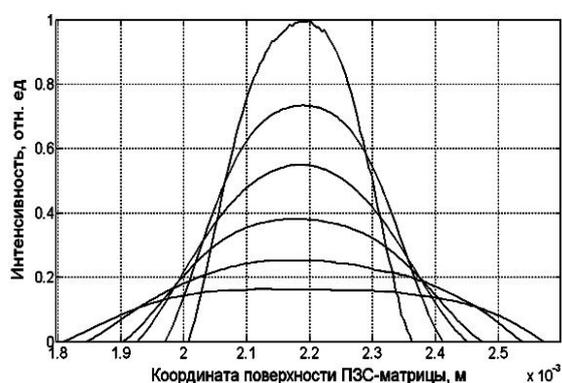


Рис. 4. Распределения интенсивности, полученные перемещением приёмного торца волокна вдоль поверхности лазерного диода

Иных мод на выходе волокна не наблюдалось. Следовательно, волокно SMF 28e, являющееся одномодовым на длине волны 1310 нм, в случае излучателя с длиной волны 690 нм поддерживает распространение нескольких мод низшего порядка.

На рис.5 представлено распределение интенсивности на выходе многомодового волокна для случая освещения лазерным диодом (рис.5,а) и светодиодом (рис.5,б). Расстояние от линзы до торца равнялось 25 мм. Расстояние между соседними положениями волокна составляло 200 мкм.



б)

Рис. 5. Распределение интенсивности света на выходе многомодового оптического волокна: а) при освещении лазерным диодом; б) при освещении светодиодом АЛ336Б

Для многомодового волокна распределение интенсивности в обоих случаях имеет единственный максимум и может быть описано экспоненциальными функциями Гаусса. Ширина освещенной области по уровню $1/e$ при установке выходного торца вплотную к ПЗС-матрице составила 255...260 мкм при

освещении лазерным диодом и 180...185 мкм при освещении светодиодом. Таким образом, распространение оптического излучения происходит не только по сердцевине, но и по оболочке волокна. В работе проведено экспериментальное исследование апертурных характеристик инфракрасных оптических волокон малой длины в диапазоне длин волн 655...690 нм. Зафиксировано распространение оптического излучения в оболочке одно- и многомодовых волокон, что позволяет увеличить интенсивность передаваемого излучения. Отмечено распространение мод низшего порядка при освещении волокна Corning SMF-28e лазерным диодом 690 нм. Выявлены различные диаграммы направленности мод, что обуславливает возможность углового модового уплотнения.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы», проект № 10в-Б001-053, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Библиографический список

1. Семёнов, А. Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС [Текст] / А. Б. Семенов. - М.: Академия ИТ, 2007.-632 с.
2. Убайдуллаев, Р. Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р. Р. Убайдуллаев. – М.: Эко Трендз, 2001.-268 с.
3. Каталог оптомеханики и оптики Thorlabs. URL: <http://www.thorlabs.com> (дата обращения: 21.02.2011).
4. Каталог лазеров и оптики Lasercomponents. URL: <http://www.lasercomponents.com> (дата обращения: 21.02.2011).
5. Степанов, М. В. Конструкторско-технологические особенности цифрового МОС-датчика перемещения [Текст] / М. В. Степанов, С. А. Матюнин, В. Д. Паранин // Датчики и системы. – 2009. - №3. – С. 21–24.
6. Матюнин, С. А. Математические моделирование и оптимизация управляемых элементов дифракционной оптики для систем связи [Текст] / С. А. Матюнин, В. Д. Паранин, Ю. А. Федотов // Фотон-Экспресс.- Т.6. - № 78. - 2009. – С. 241-242.

7. Паранин, В. Д. Моделирование оптического коммутатора на основе электрооптического фильтра Фабри-Перо [Текст] / В. Д. Паранин, С. А. Матюнин, А. Р. Мурдагулов // Сборник статей II ежегодной ВНКП «Перспективы развития информационных технологий». - Новосибирск: ЦРНС, 2010. – С. 159-164.

8. Каталог технологических лазеров НТОИРЭ-ПОЮС URL: <http://www.ntoire-polus.ru> (дата обращения: 21.02.2011).

9. Сонин, А. С. Электрооптические кристаллы [Текст] / А. С. Сонин, А. С. Василевская. – М.: Атомиздат, 1971. - 328с.

10. Кузьминов, Ю. С. Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением [Текст] / Ю. С. Кузьминов. – М.: Наука, 1982. - 400 с.

11. Чео, П. К. Волоконная оптика: приборы и системы [Текст] / П. К. Чео. – М.: Энергоиздат, 1988.-280с.

RESEARCH OF APERTURE CHARACTERISTICS OF SMALL LENGTH OPTICAL FIBERS

© 2011 V. D. Parani¹, M. V. Dashkov²

¹ Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

² Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

In work the experimental research of aperture characteristics of short segments of single- and multimode telecommunication optical fibers on wavelengths of 655-690 nanometers is made. Base mode propagation in a fiber Corning SMF-28e and possibility of mode multiplexing in short communication line is showed. Distribution of optical radiation on a cover of short optical fibers is established.

Optical fiber, aperture characteristics, mode structure.

Информация об авторах

Паранин Вячеслав Дмитриевич, аспирант кафедры электронных систем и устройств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: vparanin@mail.ru. Область научных интересов: управляемые дифракционные и интерференционные оптические элементы, информационно-измерительные системы с волоконно-оптическими линиями связи.

Дашков Михаил Викторович, доцент кафедры линии связи и измерения в технике связи, кандидат технических наук, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. E-mail: mvd@srffc.ru. Область научных интересов: волоконно-оптические линии передачи, нелинейные и поляризационные явления в оптическом волокне. .

Paranin Vyacheslav Dmitrievich, post-graduate student of electronic systems and devices department, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University) E-mail: vparanin@mail.ru. Area of research: tunable diffractive and interference optical elements, information-measuring systems with fiber-optical communication lines.

Dashkov Michael Viktorovich, assistant professor of communication lines and measurement in communications technology department, Ph.D., Povolzhskiy State University of telecommunications and informatics. E-mail: mvd@srffc.ru. Area of research: fiber-optical lines of information transferring, the nonlinear and polarizing phenomena in an optical fiber.