

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.2.02

Zhilyakov Evgeny Georgiyevich, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation; the Head of Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel.: +74722301392. E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru.

Belov Sergey Pavlovich, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation; Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel.: +79803236104. E-mail: belov@bsu.edu.ru.

Medvedeva Aleksandra Aleksandrovna, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation; Senior Teacher of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, PhD in Technical Sciences. Tel.: +79606375523. E-mail: medvedeva_aa@bsu.edu.ru.

Kurlov Aleksandr Vasilievich, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation; Senior Teacher of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies. Tel.: +74722301300(2174). E-mail: kurlov@bsu.edu.ru.

Likhlob Petr Georgiyevich, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation; Senior Teacher of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies. Tel.: +74722301300(2174). E-mail: likhlob@bsu.edu.ru.

References

1. Zhilyakov E.G., Belov S.P., Chernomorets A.A. Variacionnye metody analiza signalov na osnove chastotnyh predstavlenij [Variational methods of signal analysis on basis of frequency representation]. *Voprosy radioelektroniki*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 10-25.
2. Zhilyakov E.G., Belov S.P., Belov A.S., Firsova A.A. O segmentacii rechevyh signalov na odnorodnye otrezki [About segmentation of voice signals into uniform segments]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Serija Jekonomika. Informatika*, 2015, vol. 34, no. 7-1, pp. 194-199.
3. Zhilyakov E.G., Belov S.P., Belov A.S., Firsova A.A., Glushak A.V. Ob jeffektivnosti razlichnyh podhodov k segmentacii rechevyh signalov na osnove obnaruzhenija pauz [Effectiveness of different approaches to segmentation of speech signals based on the pauses detection]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Serija Jekonomika. Informatika*, 2015, vol. 7, no. 14-1-1, pp 187-193.

Received 20.02.2016

ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 535.31; 681.7; 53.082.5

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАПИСИ ВОЛОКОННЫХ БРЕГГОВСКИХ РЕШЕТОК НА КВАРЦЕВЫХ ГРАДИЕНТНЫХ МНОГОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ РАЗНЫХ ПОКОЛЕНИЙ

*Бурдин А.В.¹, Василец А.А.², Бурдин В.А.¹, Морозов О.Г.², Кузнецов А.А.², Нуреев И.И.²,
Фасхутдинов Л.И.², Кафарова А.М.¹, Минаева А.Ю.¹, Севрук Н.Л.¹*

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
²Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Казань, РФ
E-mail: bourdine@yandex.ru

Работа посвящена сравнительному анализу результатов записи волоконных решеток Брэгга (ВРБ) на кварцевых телекоммуникационных многомодовых оптических волокнах 50/125 разного поколения. Представлен выбор и обоснование технологии записи ВРБ на многомодовых волоконных световодах, отличающихся, в том числе, градиентным профилем показателя преломления и увеличенным, по сравнению со стандартными одномодовыми волокнами, диаметром сердцевины. Анализ полученных результатов позволил разработать практические рекомендации по записи ВРБ на волокнах указанного типа, которые также представлены в данной публикации.

Ключевые слова: Волоконно-оптические решетки Брэгга, многомодовые оптические волокна, запись ВРБ, профиль показателя преломления, маломодовые эффекты, спектральный отклик ВРБ.

Введение

В настоящее время вопрос создания высокоточных волоконно-оптических сенсоров выходит на новый уровень. Одним из часто встречающихся элементов в оптико-волоконных сенсорах является волоконная решетка Брэгга в разных ее проявлениях, в связи с чем вопросы о ее свойствах и характеристиках тщательно и непрерывно изучаются в последние десятилетия. Однако до сих пор вопрос об изготовлении ВРБ на многомодовых волокнах и применение таковых на практике остается малоизученным.

Основной целью данной работы является рассмотрение основных технологий записи ВРБ, а также изучение свойств ВРБ, записанных на многомодовых волокнах OM2+/OM3 с различными, заранее измеренными, профилями коэффициента преломления. Полученные результаты позволяют составить маршрутную технологию записи и внесут ясность в понимание возможности создания и применения высокочувствительных волоконно-оптических датчиков на основе ВРБ, записанной на многомодовом волокне.

Технологии производства ВРБ

Запись волоконных решеток Брэгга, представленная в литературе, может быть классифицирована по типу используемого для записи лазера, длине волны излучения, методу записи, облучаемому материалу и типу решетки [1].

Лазеры, используемые для записи ВРБ, могут быть как непрерывными, так и импульсными, с длиной волны излучения от инфракрасного (ИК) до ультрафиолетового (УФ) диапазона спектра. Данные различия определяют пространственную и временную когерентность используемых для записи источников оптического излучения, что, в свою очередь, определяет выбор соответствующего метода записи ВРБ. Среди основных методов записи ВРБ выделяют пошаговый метод, метод фазовой маски (ФМ) и интерферометрический метод.

В 1989 году авторы работы [2] продемонстрировали возможность формирования решеток ПП путем облучения волокна через боковую поверхность интерференционной картины, создаваемой двумя пересекающимися лучами УФ-света. С этого момента началось активное исследование волоконных решеток Брэгга, и на сегодняшний день широко применяемые методы записи ВРБ позволяют изготавливать брэгговские решетки с

эффективностью 0,1–99,9% и шириной полосы отражения 0,01–10 нм.

Запись ВРБ методом фазовой маски

Запись решеток Брэгга в ОВ одиночным импульсом эксимерного лазера методом ФМ является наиболее простым и эффективным, так как позволяет исключить из схемы записи дорогостоящие виброизолирующие столы, развязанные фундаменты и основания, необходимые при многоимпульсной записи, и при этом получать решетки с требуемыми характеристиками. Принципиальная схема записи ВРБ методом фазовой маски представлена на рисунке 1.

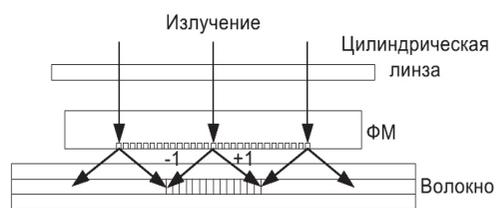


Рис. 1. Принципиальная схема записи ВРБ методом фазовой маски

Цилиндрическая линза фокусирует излучение по одной из осей для достижения требуемой плотности энергии. Излучение, проходя через фазовую маску, дифрагирует на +1 и -1 порядки. Интерференционная картина +1 и -1 порядков осуществляет запись решетки ПП в сердцевине ОВ, закрепленного на расстоянии нескольких микрон от ФМ.

С другой стороны, такой метод не позволяет менять длину волны отражения ВРБ вследствие фиксированного значения периода ФМ. Также данный метод не позволяет производить запись решеток Брэгга в процессе вытяжки волокна, так как последнее требует отсутствия оптических элементов вблизи движущегося световода [3].

Кроме того, при использовании УФ-света нужно производить процедуру снятия защитной полимерной оболочки волокна перед записью решетки. Эта процедура необходима, так как стандартные полимеры, используемые в качестве оболочки волокна, непрозрачны для УФ-света. Снятие оболочки приводит к удлинению процесса изготовления волокна с записанной в нем дифракционной структурой и снижает прочность ОВ.

Хотя и существуют некоторые методы для записи решеток ПП с помощью УФ-излучения че-

рез полимерное покрытие, но они имеют существенные недостатки. Один основан на факте, что стандартное полимерное покрытие более прозрачно в ближнем УФ-диапазоне (300-364 нм), чем в традиционном для записи диапазоне (244-248 нм). Однако это требует увеличения дополнительного легирования такого волокна, чтобы скомпенсировать слабую фоточувствительность стекла на этих длинах волн. Другой способ основан на использовании специального покрытия, прозрачного для нужного диапазона УФ-излучения, однако такой способ менее эффективный с точки зрения требуемых затрат на производство.

Запись ВРБ пошаговым методом

Еще один применяющийся на сегодняшний день метод записи – это пошаговый метод. Привлекательность данного метода в том, что он устраняет необходимость использования фазовой маски и позволяет записывать решетки с брэгговским резонансом на любой длине волны [4]. Кроме того, данный метод позволяет формировать произвольные профили отдельного штриха решетки и всего распределения амплитуды наведенного ПП в целом, а также изменять период по длине решетки [5], то есть создавать чирпированные ВРБ без использования ФМ с переменным по длине периодом. Принципиальная схема записи ВРБ пошаговым методом продемонстрирована на рисунке 2.

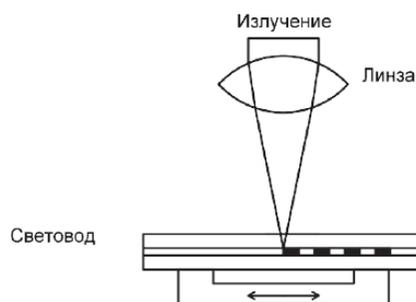


Рис. 2. Принципиальная схема записи ВРБ пошаговым методом

Однако данный метод имеет и ряд существенных недостатков: это и необходимость прецизионной механической трансляции ОВ вдоль сфокусированного излучения, и невозможность записи решетки ПП одиночным импульсом.

Запись ВРБ интерферометрическим методом

В свою очередь, метод записи решеток Брэгга в интерферометре Тальбота, показанный на ри-

сунке 3, позволяет производить запись решеток Брэгга в процессе вытяжки ОВ вследствие отсутствия оптических элементов вблизи движущегося световода.

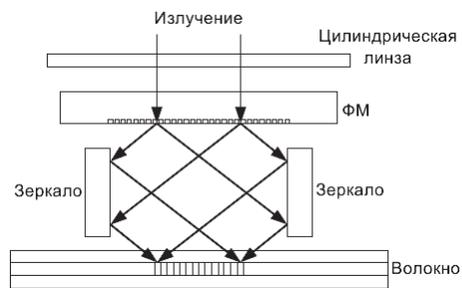


Рис. 3. Принципиальная схема записи ВРБ с помощью интерферометра Тальбота

Кроме того, путем изменения угла между лучами в данной схеме может быть подстроен период интерференционной картины, а следовательно, и период решетки ПП, отражающей излучение в соответствии с условием Брэгга. Таким образом, данным способом решетки могут быть записаны на отражение любой длины волны в очень широком диапазоне. Также данный метод позволяет полностью убрать нулевой порядок дифракции от фазовой маски за счет использования поглощающего экрана и не имеет зависимости видности интерференционной картины от распределения пространственной когерентности в пучке лазера вследствие интерференции лучей света, вышедших из одной точки пучка.

Таким образом, интерферометр Тальбота реализует амплитудное разделение оптического излучения, которое может быть выполнено или ФМ, как в данной схеме (рис. 3), или светоделительной пластиной (кубиком). Существует также интерферометрическая схема записи ВРБ с пространственным разделением пучка света, которая реализуется с помощью интерферометра Ллойда, представленная на рисунке 4.

Такой интерферометр (рис. 4) может быть создан, например, с использованием диэлектрического зеркала, которое делит фронт пучка на две равные части [5]. Как и в предыдущей схеме, здесь возможна перестройка угла между лучами путем поворота зеркала вместе с закрепленным на нем ОВ. Вследствие меньшего числа оптических элементов по сравнению с интерферометрическими схемами записи решеток ПП с амплитудным разделением оптического излучения данная схема обладает лучшей стабильностью.

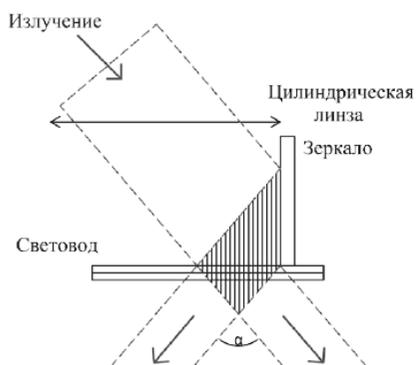


Рис. 4. Принципиальная схема записи ВРБ с помощью интерферометра Ллойда

Запись ВРБ на многомодовых волокнах с различным коэффициентом преломления

Проведя сравнительный анализ всех параметров различных технологий записи приведенных выше, мы делаем упор на технологию записи при помощи интерферометра Ллойда, так как она объединяет некоторые из достоинств всех методов, такие как: позволяет записывать ВРБ на произвольную длину волны; относительная дешевизна, так как используются простые оптические элементы, а также меньшая чувствительность схемы к пространственной когерентности пучка лазера, в отличие от схемы с фазовой маской.

Для записи ВРБ будет использован аргоновый ионный лазер, предназначенный для генерации непрерывного излучения в диапазоне длин волн 458-514 нм в одномодовом режиме и схема записи, основанная на интерферометре Ллойда, изображенная на рисунке 5.

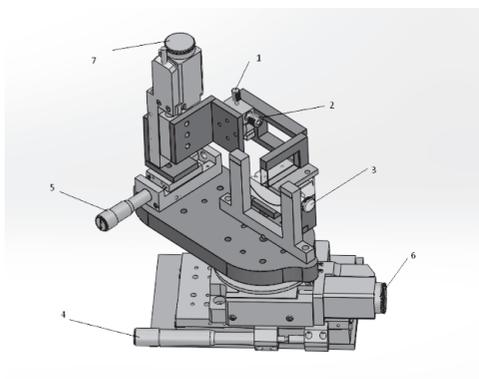


Рис. 5. Схема записи основанная на интерферометре Ллойда

Здесь: 1 – регулировка наклона линзы; 2 – фиксация наклона линзы; 3 – регулировка наклона зеркала; 4 – регулировка поперечного положения схемы записи (подвижное основание);

5 – настройка линзы по фокусу, 6 – настройка поворота схемы (подвижное основание); 7 – настройка линзы по вертикали.

Для записи экспериментальных ВРБ были отобраны многомодовые волокна с заранее измеренными профилями показателя преломления 4 видов. Процесс измерения подробно описан в работах [6-12].

Характеристики профилей показателя преломления изображены на рисунках 6 – 9.

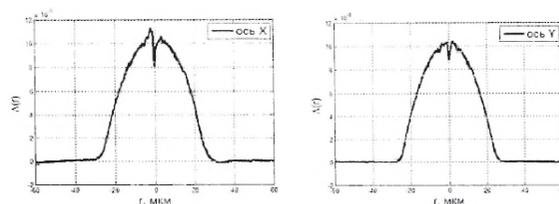


Рис. 6. Профиль показателя преломления с провалом (тип 1)

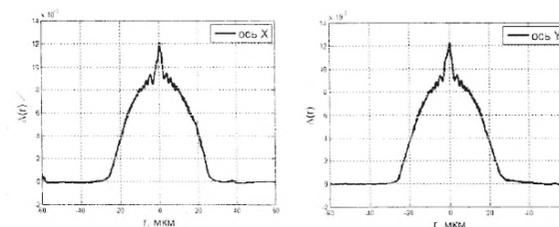


Рис. 7. Профиль показателя преломления с широким пиком (тип 2)

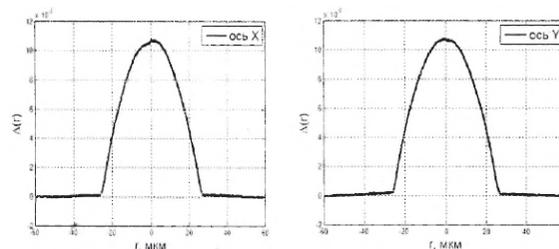


Рис. 8. Профиль показателя преломления без дефекта (тип 3)

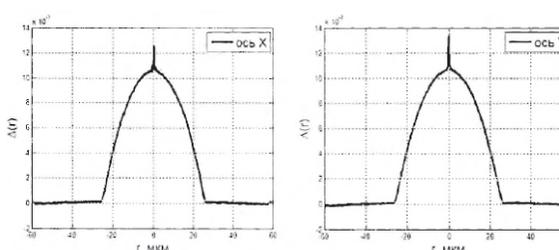


Рис. 9. Профиль показателя преломления с узким пиком (тип 4)

После записи для измерения спектра каждой решетки использовался широкополосный излучатель с гладким спектром, рис. 10.

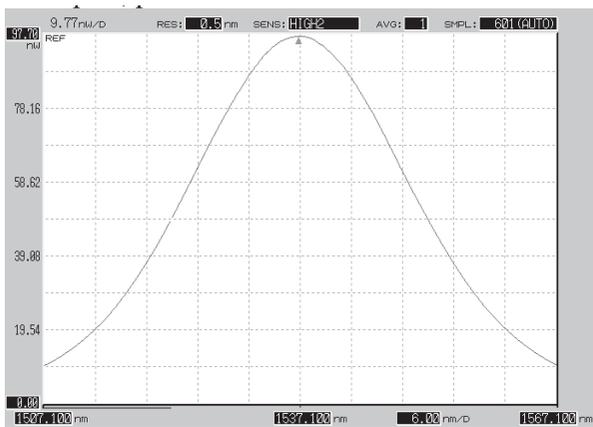


Рис. 10. Спектр излучателя

В процессе эксперимента было записано 48 ВРБ (по 12 штук на каждом типе волокна). Все эксперименты показали высокую стабильность, так как все спектры были идентичны друг другу. Это позволяет сделать вывод, что используемая схема записи дает возможность производить ВРБ с заранее заданными, точными параметрами. Результаты сканирования спектра каждого типа волокна представлены на рисунках 11 – 14.

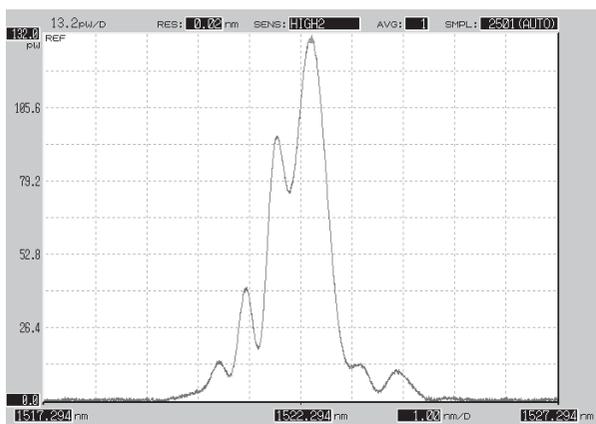


Рис. 11. Спектр ВРБ, записанной на волокне типа 1

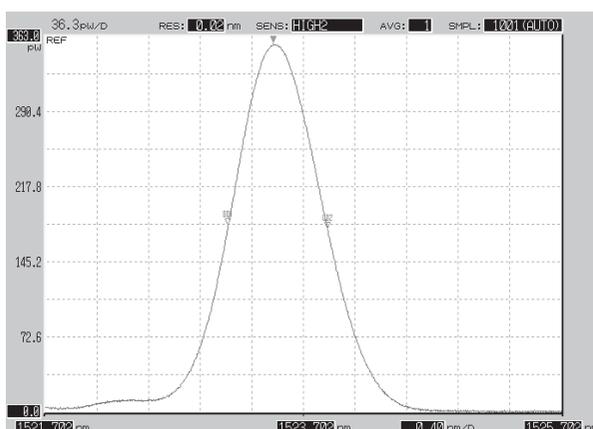


Рис. 12. Спектр ВРБ, записанной на волокне типа 2

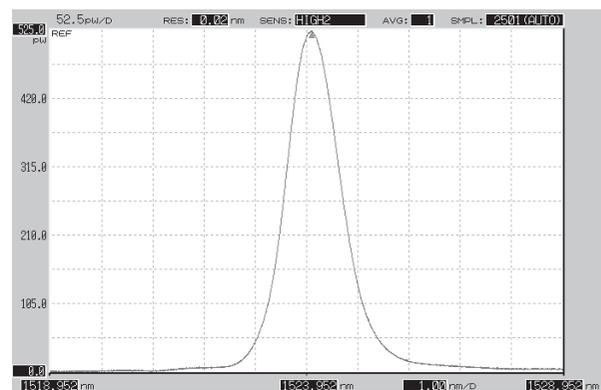


Рис. 13. Спектр ВРБ, записанной на волокне типа 3

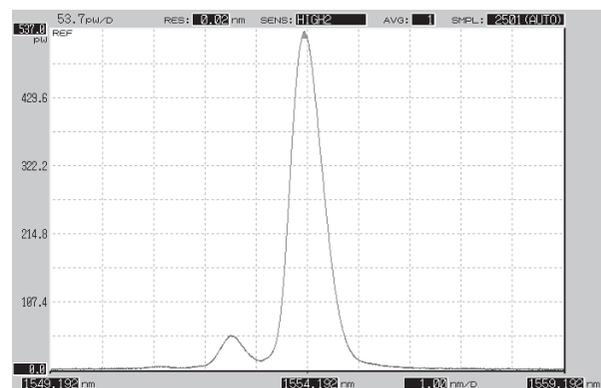


Рис. 14. Спектр ВРБ, записанной на волокне типа 4

Из полученных в ходе эксперимента данных можно сделать несколько основных выводов: 1 – ВРБ, записанные на волокнах 1 типа (профиль ПП с провалом), более чувствительны к изгибу волокна; 2 – ВРБ, записанные на волокнах типа 4 (профиль ПП с широким пиком), схожи по своим характеристикам с ВРБ, записанными на одномодовом волокне; 3 – ВРБ, записанные на волокнах типа 2 и 3 (профиль ПП без дефекта и с узким пиком), получаются более симметричными относительно максимума, чем в решетках, записанных на одномодовом волокне. Данное явление вызвано особенностью формирования интерференционной картины в схеме Ллойда и в других схемах не проявляется.

Заключение

В работе были рассмотрены наиболее распространенные технологии записи волоконных решеток Брэгга, проведены экспериментальные записи ВРБ на кварцевых градиентных многомодовых оптических волокнах разных поколений. Среди рассмотренных методов был выделен метод, основанный на использовании интерферометра Ллойда. Целесообразность выбора данного метода была подтверждена в ходе эксперимента, так как было установлено, что ВРБ на волокнах с

профилем ПП без дефектов и с узким пиком имеют более симметричный профиль относительно максимума, нежели ВРБ, записанные на одномодовых оптических волокнах, что может открыть новые возможности в их применении, так как было установлено что ВРБ на многомодовых волокнах также более чувствительны к внешним воздействиям, чем ВРБ на одномодовых волокнах. Данные эффекты будут подробно рассмотрены в следующих работах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-37-51254 мол_нр

Литература

1. Becker M. Fiber Bragg Grating Inscription with UV Femtosecond Exposure and Two Beam Interference for Fiber Laser Applications / M. Becker, S. Bruckner, E. Lindner, M. Rothhardt, S. Unger, J. Kobelke, K. Schuster, H. Bartelt // Proc. of SPIE. – 2010. – V. 7750, 775015-1.
2. Meltz G. Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method / G. Meltz, W. W. Morey, W. H. Glenn // Opt. Lett. – 1989. – V. 14. – № 15. – P. 823-825.
3. Варжель С. В. Запись узкополосных волоконных брэгговских отражателей одиночным импульсом эксимерного лазера методом фазовой маски / С. В. Варжель, А. В. Куликов, В. А. Асеев, В. С. Брунов, В. Г. Калько, В. А. Артеев // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – Т. 75. – № 5. – С. 27-30.
4. Lai Y. Point-by-point inscription of sub-micrometer period fiber Bragg gratings / Y. Lai, K. Zhou, K. Sugden, I. Bennon // OSA/CLEO/QELS. – 2008. – paper CTuU2.
5. Васильев С. А. Волоконные решетки показателя преломления и их применение / С. А. Васильев, О. И. Медведков, И. Г. Королев, А. С. Божков, А. С. Курков, Е. М. Дианов // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35. – № 12. – С. 1085-1103.
6. Бурдин А.В. Дифференциальная модовая задержка кварцевых многомодовых оптических волокон разных поколений // Фотон-Экспресс. – 2008. – №5-6(69-70). – С. 20 – 22.
7. Bourdine A.V., Prokopyev V.I., Dmitriev E.V., Yablochkin K.A. Results of conventional field-test equipment application for identification of multimode optical fibers with high DMD // Proceedings of SPIE. – 2009. – vol. 7374. – P. 73740J-01 – 73740J-07.
8. Бурдин А.В. О диагностике дифференциальной модовой задержки многомодовых оптических волокон // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – №4. – С. 33 – 38.
9. Бурдин А.В., Яблочкин К.А. Исследование дефектов профиля показателя преломления многомодовых оптических волокон кабелей связи // Инфокоммуникационные технологии. – 2010. – №2. – С. 22 – 27
10. Bourdine A.V., Praporshchikov D.E., Yablochkin K.A. Investigation of defects of refractive index profile of silica graded-index multimode fibers // Proceedings of SPIE. – 2011. – vol. 7992. – P. 799206-1 – 799206-6.
11. Бурдин А.В., Дашков М.В., Дмитриев Е.В., Прокопьев В.И. Вопросы оценки потенциальных возможностей использования многомодовых волокон на мультигигабитных сетях передачи данных // VI Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (ПТиТТ): тезисы докладов. – Казань, 2008 – С. 241 – 242.
12. Бурдин А.В., Яблочкин К.А. Результаты измерений дифференциальной модовой задержки многомодовых волокон разного поколения // VII Международная НТК «Физика и технические приложения волновых процессов»: тезисы докладов. – Самара, 2008. – С. 298 – 299.

Бурдин Антон Владимирович, д.т.н., доцент, помощник ректора по инновациям, профессор Кафедры линий связи и измерений в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (г. Самара). Тел.: +78463322161; E-mail: bourdine@psuti.ru

Василец Александр Александрович, аспирант Кафедры и микроволновых технологий Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (г. Казань). Тел.: +79375295055; E-mail: a.vasilets@mail.ru

Бурдин Владимир Александрович, д.т.н., профессор, проректор по науке и инновациям Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (г. Самара). Тел.: (846)3322161; E-mail: burdin@psati.ru

Морозов Олег Геннадьевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой и микроволновых технологий Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (г. Казань). Тел.: +79172663227; E-mail: microoil@mail.ru

Кафарова Анастасия Михайловна, магистрант Кафедры линий связи и измерений в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (г. Самара). Тел.: (846)3322161; E-mail: nastya59494@mail.ru

Минаева Алина Юрьевна, магистрант Кафедры линий связи и измерений в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (г. Самара). Тел.: (846)3322161; E-mail: minaeva1993@mail.ru

Севрук Никита Львович, магистрант Кафедры линий связи и измерений в технике связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (г. Самара). Тел.: (846)3322161; E-mail: nikasevruk@mail.ru

Нуреев Ильнур Ильдарович, к.т.н., доцент Кафедры и микроволновых технологий Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (г. Казань). Тел.: +79178710076; E-mail: n2i2@mail.ru

Кузнецов Артем Анатольевич, аспирант Кафедры и микроволновых технологий Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (г. Казань). Тел.: +79196425689; E-mail: serius_91@mail.ru

Фасхутдинов Ленар Маликович, аспирант Кафедры и микроволновых технологий Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (г. Казань). Тел.: +79196425689; E-mail: serius_91@mail.ru

RESULTS OF FIBER BRAGG GRATING WRITING ON SILICA GRADED-INDEX MULTIMODE OPTICAL FIBERS OF DIFFERENT GENERATIONS

Anton V. Bourdine¹, Alexander A. Vasilets², Vladimir A. Burdin¹, Oleg G. Morozov², Ilmur I. Nureev², Artem A. Kuznetzov², Lenar M. Faskhutdinov², Anastasia M. Kafarova¹, Alina Yu. Minaeva¹, Nikita L. Sevruk¹

¹Dept. of Communications Lines, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (PSUTI) / 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation

²Dept. of Radiophotonics and Microwave Tech., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev / 10, K.Marks str., Kazan, 420111, Russian Federation

E-mail: bourdine@yandex.ru

This work is concerned on comparative analysis results of fiber Bragg grating (FBG) writing on silica telecommunication multimode optical fibers 50/125 of different generations. We overviewed known techniques for FBG writing and selected one based on Lloyd interferometer for FBG preparing on multimode optical fibers differing by graded refractive index profile and large core diameter in comparison with standard single mode optical fibers. A set of 48 FBG samples was prepared on four multimode fibers 50/125 with preliminary measured refractive index profiles. Two of them were first generation fibers of TIA/EIA Cat. OM2 with great defects of refractive index profile at the core center (deep and peak) and strong refractive index fluctuations. Another two fibers were laser-optimized multimode fibers of Cat. OM2+/OM3. Here one graded refractive index profile was clear while second contained thin peak in the core center. Results of FBG spectral response comparison are represented.

Keywords: fiber Bragg gratings, multimode optical fibers, FBG writing, graded refractive index profile, few-mode effects, Bragg wavelength, FBG spectral response

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.2.03

The reported study was funded by RFBR, according to the research project No. 15-37-51254 mol_nr

Bourdine Anton Vladimirovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Communication Lines; Doctor of Technical Science; Associated Professor. Tel.: +78463322161. E-mail: bourdine@psuti.ru.

Vasilets Alexander Alexandrovich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 10 K.Marks str., Kazan 420111, Russian Federation; PhD student of the Department of Radiophotonics and Microwave Technologies. Tel.: +79375295055. E-mail: a.vasilets@mail.ru

Buridin Vladimir Alexandrovich, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; vice-rector on science activity and innovation; Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel.: +78463322161. E-mail: buridin@psati.ru

Morozov Oleg Gennadievich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 10 K.Marks str., Kazan 420111, Russian Federation; Head of the Department of Radiophotonics and Microwave Technologies, Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel.: +79172663227; E-mail: microoil@mail.ru

Kafarova Anastasia Michailovna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Communication Lines; Master Student of the Department of Communication Lines. Tel.: +78463322161. E-mail: nastya59494@mail.ru

Minaeva Alina Yurievna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Communication Lines; Master Student of the Department of Communication Lines. Tel.: +78463322161. E-mail: minaeva1993@mail.ru

Sevruk Nikita Lvovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Professor of the Department of Communication Lines; Master Student of the Department of Communication Lines. Tel.: +78463322161. E-mail: nikasevruk@mail.ru

Nureev Ilnur Ildarovich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 10 K.Marks str., Kazan 420111, Russian Federation; Professor Assistant of the Department of Radiophotonics and Microwave Technologies; PhD in Technical Sciences. Tel.: +79178710076. E-mail: n2i2@mail.ru

Kuznetsov Artem Anatolievich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 10 K.Marks str., Kazan 420111, Russian Federation; PhD student of the Department of Radiophotonics and Microwave Technologies. Tel.: +79196425689. E-mail: serius_91@mail.ru

Faskhutdinov Lenar Malikovich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, 10 K.Marks str., Kazan 420111, Russian Federation; PhD student of the Department of Radiophotonics and Microwave Technologies. Tel.: +79196425689. E-mail: serius_91@mail.ru.

References

1. Becker M. et al. Fiber Bragg Grating Inscription with UV Femtosecond Exposure and Two Beam Interference for Fiber Laser Applications. *Proc. of SPIE*, 2010, vol. 7750, 775015.
2. Meltz G., Morey W.W., Glenn W.H. Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method. *Opt. Lett.*, 1989, vol. 14, no. 15, pp. 823-825.
3. Varzhel' S.V. et al. Zapis' uzkopolosnykh volokonnykh breggovskikh otrazhateley odinochnym impul'som eksimernogo lazera metodom fazovoy maski [Recording narrowband fiber Bragg reflectors by a single pulse excimer laser by the method phase mask]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik SPbGU ITMO*, 2011, vol. 75, no. 5, pp. 27-30.
4. Lai Y., Zhou K., Sugden K., Bennon I. Point-by-point inscription of sub-micrometer period fiber Bragg gratings. *OSA/CLEO/QELS*, 2008, paper CTuU2.
5. Vasil'ev S.A., Medvedkov O.I., Korolev I.G., Bozhkov A.S., Kurkov A.S., Dianov E.M. Fibre gratings and their applications. *Quantum Electronics*, 2005. vol. 35, no. 12, pp. 1085-1103.
6. Bourdine A.V. Differentsial' naya modovaya zaderzhka kvartseykh mnogomodovykh opticheskikh volokon raznykh pokoleniy [Differential mode delay of quartz multimode optical fibers of different generations]. *Foton-Ekspress*, 2008, no. 5-6, pp. 20-22.

7. Bourdine A. V., Prokopyev V. I., Dmitriev E. V., Yablochkin K. A. Results of conventional field-test equipment application for identification of multimode optical fibers with high DMD. *Proceedings of SPIE*, 2009, vol. 7374, pp. 73740J-01 – 73740J-07.
8. Bourdine A. V. O diagnostike differentsial'noy modovoy zaderzhki mnogomodovykh opticheskikh volokon [About multimode optical fiber differential mode delay diagnostics]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2008, no. 4, pp. 33-38.
9. Bourdine A. V., Yablochkin K. A. Issledovanie defektov profilya pokazatelya prelomleniya mnogomodovykh opticheskikh volokon kabeley svyazi [Investigations of refractive index profile defects of silica graded-index multimode fibers of telecommunication cables]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2010, no. 2, pp. 22 – 27.
10. Bourdine A. V., Praporshchikov D. E., Yablochkin K. A. Investigation of defects of refractive index profile of silica graded-index multimode fibers. *Proceedings of SPIE*, 2011, vol. 7992, pp. 799206-1 – 799206-6.
11. Bourdine A. V., Dashkov M. V., Dmitriev E. V., Procop'ev V. I. Voprosi ocenki potencial'nykh vozmozhnostey ispolzovaniya mnogomodovykh volokon na multigigabitnykh setyakh peredachi danykh [Questions about assessment of potential opportunities of using multimode fibers at multigigabit data networks]. *VI mezdunarodnaya nauchno-technicheskaya konferenciya «Problemy tehniki i tehnologii telekammunikacii» (PTiTT)*, Kazan, 2008, pp. 241-242.
12. Bourdine A. V., Yablochkin K. A. Rezultaty izmereniy differentsial'noy modovoy zaderzhki mnogomodovykh volokon raznogo pokoleniya [Measuring results of differential mode delay in multimode optical fibers of different generations]. *VII mezdunarodnaya NTK «Fizika i technicheskie prilozheniya volnovykh processov*, Samara, 2008, pp. 298-299.

УДК 621.391:007

ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Буренин А.Н.¹, Легков К.Е.²

¹Научно-исследовательский институт «Рубин», Санкт-Петербург, РФ

²Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, РФ

E-mail: konferencia_asu_yka@mail.ru

Для обеспечения возможности осуществления широкой автоматизации процедур управления инфокоммуникационными сетями специального назначения и создания на этой основе специального программного обеспечения комплексов средств автоматизации последовательно излагаются достаточно строгие методические подходы к постановке и решению задачи управления инфокоммуникационной сетью, позволяющие впоследствии разработать соответствующее алгоритмическое обеспечение для автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: функционирование, инфокоммуникационные сети специального назначения, информационное воздействие, управление, архитектурное построение.

Введение

В настоящее время в составе ведомственных систем связи специального назначения (СН) создается ряд информационных систем и телекоммуникационных сетей, образующих в своей совокупности инфокоммуникационную сеть (ИКС) ведомства, являющуюся фактически информационным и телекоммуникационным ядром соответствующей системы связи и предоставляющей различным пользователям требуемые услуги [1-2].

Функционирование ведомственных ИКС специального назначения с высокими качественными показателями в условиях достаточно жестких требований, предъявляемых к ним со стороны спецпользователей информационных систем и

органов исполнительной власти, возможно только при решении всего комплекса задач управления, которые возлагаются на автоматизированную систему управления ИКС [3-5].

Возросшая сложность телекоммуникационных сетей, входящих в состав ведомственной ИКС (абонентские сети, объектовые сети, сети доступа, транспортная сеть, сети услуг каждого уровня сети), и процессов их функционирования, увеличение числа применяемых телекоммуникационных и информационных технологий, потенциальных ошибок в их реализации и, следовательно, в предоставлении услуг, а также возможностей противодействующей стороны по реализации различного рода воздействий на сеть,