

# УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ВНУТРИВОЛОКОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУР ВНЕШНИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

С.В.Карпеев<sup>1</sup>, Г.В.Леонович<sup>2</sup>, В.Д.Паранин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт систем обработки изображений РАН,

<sup>2</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П.Королева (национальный исследовательский университет)»

Предложен метод управления оптическими параметрами элементов и структур, формируемых внутри ступенчатых и градиентных оптических волокон на принципе внешнего магнитно – стрикционного воздействия на физические и геометрические параметры световодов. Управление осуществляется посредством воздействия 3D - магнитного актюатора на магниточувствительное тонкопленочное покрытие оптического волокна.

## 1. Введение

На сегодняшний день последние достижения в области оптоволоконных технологий широко используются для формирования высокоскоростных стабильных каналов передачи информации [1] и интеллектуальных сенсорных систем [2].

При формировании высокоскоростных волоконно-оптических каналов передачи данных необходимо учитывать и бороться с влиянием температурных воздействий и механических деформаций [3, 4] на коэффициент преломления, эллиптичность и длину участков оптического волокна (ОВ) при монтаже и прокладке кабеля. Для исключения механического растяжения и деформации ОВ используются специальные конструкции кабеля - например, с волнистым профилем закладки и с повивом модулей с ОВ. Тем не менее, температурное воздействие во всех конструкциях все равно приводит к локальной деформации ОВ. В результате итоговая скорость передачи данных может упасть в 2 и более раз. Возникают дополнительные шумы, затухание, модовая дисперсия [1, 5] и перекрестные помехи в кабеле, что также отрицательно влияет на дальность и качество связи, в том числе при передаче данных от волоконно-оптических датчиков [2]. Известны способы борьбы с этими явлениями ориентированные на применение модовой фильтрации [5 - 10], но это достаточно сложные и дорогостоящие технические решения. Другим методом коррекции искажений является применение оптических вихрей при передаче информации по волоконным световодам [11, 12], либо бездисперсионных пучков [13], но данные способы не позволяют производить передачу данных на значительные расстояния.

Поэтому поиск и применение эффективных мер по оперативному управлению параметрами ОВ в составе волоконно-оптических систем, быстрой подстройке и коррекции искажений параметров, вызванных воздействием эксплуатационных факторов, остается не до конца решенной актуальной проблемой.

## 2. Физические основы предлагаемого решения

Основой предлагаемого метода является совокупность блока формирования силового поля с закрепленным в его корпусе ОВ и опционального пленочного чувствительного покрытия. Такое устройство представляет собой 3D-актюатор для изменения геометрических и связанных с ними физических и оптических параметров ОВ.

Возможна реализация актюатора в вариантах управления посредством температурного и непосредственного механического воздействия, а также опосредствованного воздействия силового магнитного и/или электрического поля. С точки зрения энергозатрат, динамических характеристик, гистерезисных явлений, зависимости воздействия от расстояния и возможности построения систем с

фиксированными значениями параметров, предпочтительный вариант – управление посредством внешнего магнитного поля.

Основными оптическими параметрами ОВ в контексте функционального назначения актюатора являются распределение коэффициента преломления, определяющего оптические свойства оптоволокна, и длина оптического пути.

Реализуемые эффекты системы управления на базе 3D-магнитного актюатора (3DMA), которые реализуются в пределах механических деформаций, допустимых для конкретного типа ОВ:

- общее и локальное управление длиной оптического пути ОВ;
- общее и локальное управление распределением показателя преломления ОВ;
- управление анизотропными свойствами ОВ, в том числе эллиптичностью и двулучепреломлением
- создание простых и сложных градиентных структур с фиксированными и переменными параметрами преломления;
- управление пространственным положением торцов и локальных участков ОВ;
- управление параметрами внутриволоконных брэгговских решеток (ВБР).

### 3. Реализационные аспекты предлагаемого технического решения

Варианты структурного построения системы управления при разных форматах и расположении управляемых элементов представлены на рис. 1 и 2. Формирование структуры с локальными аксиально-радиальными неоднородностями ОВ (рис.1) возлагается на блок формирования градиентного магнитного поля, содержащий в общем случае группу из  $N$  управляющих электромагнитов и  $M$  постоянных магнитов, в которых роли якорей или взаимодействующих с ними магнитов выполняют соответствующие участки ОВ с магниточувствительным покрытием. Возможно использование материалов, обладающих магнитострикционными свойствами, применение которых во многих приложениях ограничено низким значением чувствительности к воздействию магнитному полю. Технологическое полимерное покрытие предназначено для обеспечения микросмещений участков оптического волокна и фиксации на нем постоянных магнитов.

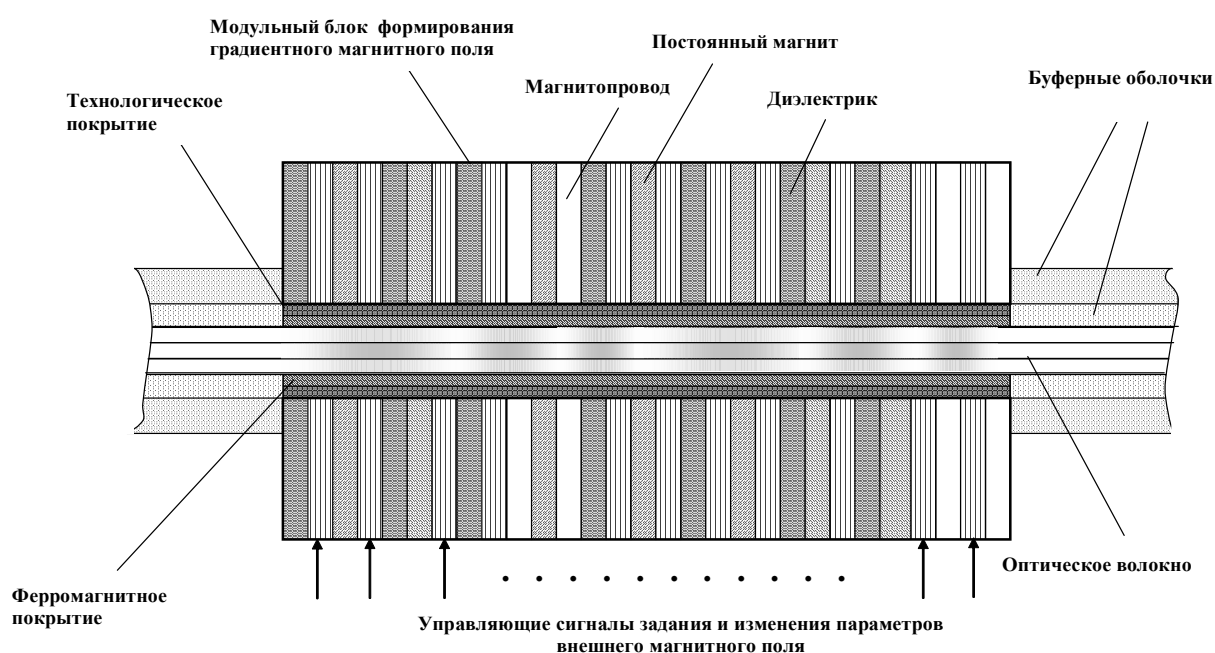


Рисунок 1 - Вариант структурной схемы многомодульной локализованной системы управления свойствами участка ОВ.

На рис.2 показана конструкция, основанная на использовании набора пространственно разнесенных по длине ОВ актюаторов на постоянных магнитах с

функцией фиксированного аксиального и радиального локально-интегрального растяжения и сжатия, которая предназначена для формирования градиентной структуры в образце ОВ.

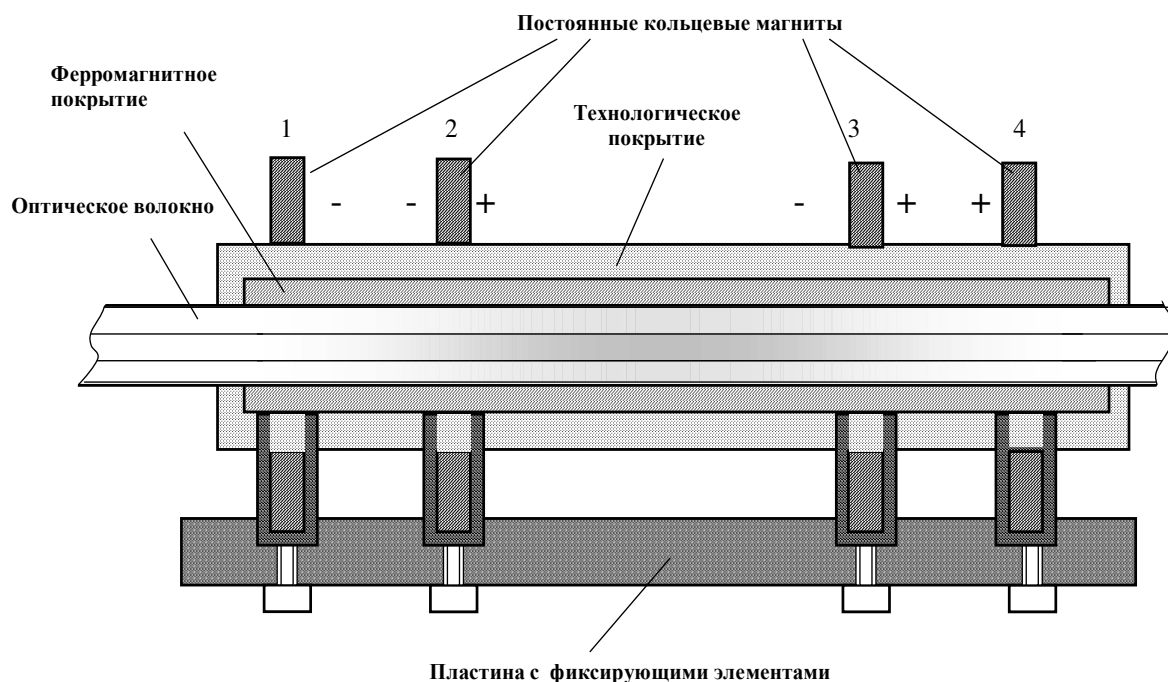


Рисунок 2 - Вариант фиксированной внутриволоконной оптической структуры на основе комплекта пространственно разнесенных по длине ОВ актюаторов из постоянных магнитов

В таком устройстве локальные аксиальные сжатия и растяжения осуществляются за счет взаимодействия закрепленных или перемещающихся постоянных магнитов. На участке ОВ между постоянными кольцевыми магнитами 2 (+) и 3 (-) имеет место локальное аксиальное сжатие, на участках между магнитами 1 (-) и 2 (-), 3 (+) и 4 (+) - локальное аксиальное растяжение ОВ. Аксиальное и радиальное сжатие и растяжение волокна происходит также за счет взаимодействия кольцевых и других вводимых магнитов с нанесенным на ОВ магниточувствительным покрытием. Выбор схемы, материала, толщины покрытий и топологии их нанесения, подбор и расстановка магнитов также определяются расчетным путем по результатам математического моделирования. Приведенные в качестве примеров конструкции могут использоваться как для связанных ОВ со ступенчатым профилем показателя преломления, так и с градиентным.

Для ОВ со ступенчатым профилем показателя преломления возможны два направления использования: во-первых, для управления параметрами ОВ, важными для формировании высокоскоростных волоконно-оптических каналов передачи данных – показателем преломления, анизотропными и другими свойствами указанными выше, и, во-вторых, для реализации нового принципа создания градиентной структуры в ступенчатом ОВ. При радиальном растяжении или сжатии, осуществляемом описанной конструкцией актюатора, изменение показателя преломления материала ОВ приблизительно пропорционально квадрату радиуса. Следовательно, это изменение должно приводить к возникновению в ОВ линзоподобной градиентной среды, то есть формированию градиента с опцией подстройки. Причем, при радиальном растяжении формируется положительная линза, а при сжатии – отрицательная.

При использовании ОВ с градиентным изменением показателя преломления управление внешним магнитным полем осуществляется в качестве подстройки и коррекции параметров уже имеющейся линзоподобной среды.

#### 4. Заключение

Перспективы реализации предложенного подхода обусловлены следующими факторами:

- возможность создания широкого спектра гибридно-градиентных внутриволоконных структур, сочетающих в себе свойства управляемой градиентной среды ОВ со свойствами рефракционных, дифракционных и нелинейно-оптических элементов (граданы, интегрально-оптические, фазовые и амплитудно-фазовые оптические структуры);
- использование освоенных технологий изготовления базовых комплектующих (оптическое волокно, магнитные актюаторы для микроперемещений объектов);
- применение простого производственного оборудования и унифицированных технологических приемов для изготовления УМВОЭС;
- простота монтажа и эксплуатации УМВОЭС;
- высокая надежность комплектующих, устойчивость к ВДФ.

### Литература

1. Кутлюяров, Р.В. Снижение нелинейных искажений под влиянием поляризационно - модовой дисперсии при передаче WDM-сигналов / Кутлюяров Р.В., Султанов А.Х., Багманов В.Х. // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 4. – С. 737-742.
2. Karpeev, S.V. Fibre sensors based on transverse mode selection / S.V. Karpeev, V.S. Pavelyev, S.N. Khonina, N.L. Kazanskiy, A.V. Gavrilov, V.A. Erolov // Journal of Modern Optics. – 2007. – Vol. 54, № 6. – P. 833-844. DOI:10.1080/09500340601066125.
3. Garitchev, V.P. Experimental investigation of mode coupling in a multimode graded-index fiber, caused by periodic microbends using computer-generated spatial filters / V.P. Garitchev, M.A. Golub, S.V. Karpeev, S.G. Krivoslykov, N.I. Petrov, I.N. Sissakian, V.A. Soifer, W. Haubenreisser, J.U. Jahn, R. Willsch // Optics Communication, 1985. – Vol. 55, N 6. – P. 403-405.
4. Карпеев С.В. Исследование зависимости мощностей мод на выходе ступенчатого волоконного световода от величины его прогиба / Карпеев С.В., Павельев В.С., Хонина С.Н. // Компьютерная оптика, 2003, вып.25, с. 95-99.
5. Любопытов, В.С. Математическая модель детектирования параметров распространения мод в оптическом волокне при маломодовом режиме для адаптивной оптической компенсации смещения мод / В.С. Любопытов, А.З. Тлявлин, А.Х. Султанов, В.Х. Багманов, С.Н. Хонина, С.В. Карпеев, Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 3. – С. 352-359.
6. Голуб, М.А. Фазовые пространственные фильтры, согласованные с поперечными модами / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Сойфер, С.В. Карпеев, А.В. Мирзов, Г.В. Уваров // Квантовая электроника. – 1988. – Т. 15, № 3. – С. 617.
7. Karpeev, S.V. DOE-aided analysis and generation of transverse coherent light modes in a stepped-index optical fiber / S.V. Karpeev, V.S. Pavelyev, M. Duparre, B. Luedge, C. Rockstuhl, S. Schroeter // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2003. – Vol. 12, N 1. – P. 27-34.
8. Голуб, М.А. Экспериментальное исследование распределения мощности по поперечным модам в волоконном световоде с помощью пространственных фильтров / М.А. Голуб, С.В. Карпеев, С.Г. Кривошлыков, А.М. Прохоров, И.Н. Сисакян, В.А. Сойфер // Квантовая электроника. – 1984. – Т. 11, № 9. – С. 1869-1871.
9. Гаричев, В.П. Применение синтезированных голограмм для селективного возбуждения мод градиентного оптического волокна и исследования их чувствительности к радиальному смещению возбуждающего пучка / Гаричев В.П., Голуб М.А., Карпеев С.В., Кривошлыков С.Г., Сисакян И.Н., Сойфер В.А., Уваров Г.В. // Компьютерная оптика. – 1988. – , № 3. – С. 103-109.
10. Карпеев, С.В. Возбуждение мод ступенчатого волновода с помощью бинарных фазовых ДОЭ / Карпеев С.В., Павельев В.С., Дюпарре М., Людге Б., Шротер З. // Компьютерная оптика. – 2002. – Вып. 24. – С. 99-101.
11. Karpeev, S.V. Experimental excitation and detection of angular harmonics in a step-index optical fiber / S.V. Karpeev, S.N. Khonina // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). – 2007. – Vol. 16(4). – P. 295-300.
12. Хонина, С.Н. Возбуждение и обнаружение угловых гармоник в волоконном световоде при помощи ДОЭ / С.Н. Хонина, С.В. Карпеев // Компьютерная оптика. – 2004. – Вып. 26. – С. 16-26.
13. Бородин, С.А. Численное и экспериментальное исследование бездисперсионных многомодовых пучков, формируемых с помощью ДОЭ / Бородин С.А., Волков А.В., Казанский Н.Л., Павельев В.С., Карпеев С.В., Палагушкин А.Н., Прокопенко С.А. Сергеев А.П., Арламенков А.Н. // Компьютерная оптика. – 2005. – Вып. 27. – С. 41-44