

УДК 629.78

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛИНЕЙНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ МОД В СТУПЕНЧАТЫХ ВОЛОКНАХ

Александрова А. В., Хонина С. Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Оптическое волокно в настоящее время считается самой совершенной и перспективной физической средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Оптические волокна имеют широкое применение в информационно-измерительной технике и телекоммуникациях благодаря ряду особенностей, присущих оптическим волноводам.

Успехи, достигнутые в производстве оптических волокон, позволяют передавать информацию с большими скоростями на расстоянии в сотни километров без регенерации сигнала. Высокая помехозащищённость, скрытность передаваемой информации и электромагнитная совместимость каналов связи являются серьезными аргументами в пользу волоконно-оптических систем.

Существует два типа оптических волокон: одномодовые и многомодовые. Использование волокон с различным профилем показателя преломления по сечению (ступенчатым или градиентным) зависит от области применения. В ступенчатых волокнах показатель профиля преломления от оболочки к сердцевине изменяется скачкообразно. В градиентных волокнах показатель преломления сердцевины плавно возрастает от края к центру. В данной работе рассматриваются волокна со ступенчатым профилем показателя преломления из-за их широкого распространения.

Для многомодовых оптических волокон существует термин модовое уплотнение каналов – mode division multiplexing (MDM), который используется для методов уплотнения каналов передачи информации, где каждая распространяющаяся в волокне пространственная мода рассматривается как отдельный канал, несущий свой сигнал [1,2]. Недавние работы [3-5] показывают вновь возникший интерес использования оптических вихрей в оптических телекоммуникациях на основе модового уплотнения каналов. Суть модового уплотнения каналов состоит в том, чтобы с помощью лазерных пучков, являющихся линейной суперпозицией распространяющихся в волноводе мод, можно формировать сигналы, которые будут эффективно передавать информацию в одном физическом носителе – многомодовом волокне. Передаваемая информация может содержаться как в модовом составе, так и в доле энергии, которую несёт каждая мода лазерного пучка [6, 7].

Целью исследования является моделирование распространения в идеальном оптическом волокне суперпозиции линейно-поляризованных мод и определение по заданным физическим характеристикам ступенчатого оптического волокна всего возможного набора мод и множества суперпозиций этих мод, обладающих теми или иными свойствами самовоспроизведения. А также исследование прохождения световых сигналов в неидеальных оптических волноводах путём компьютерного моделирования с помощью коммерческого пакета BeamProp от компании RSoft DesignGroup, Inc., в котором реализован метод распространения пучков (beam propagation method, BPM).

В ходе работы была рассмотрена основная теория многомодовых оптических волокон, приведено подробное описание применений уравнений Максвелла к цилиндрической среде со ступенчатым профилем показателя преломления. С

использованием программного обеспечения MATLAB выполнен расчёт собственных мод оптического волокна со ступенчатым показателем преломления двумя способами.

Особое внимание было уделено свойствам линейно-поляризованных мод ступенчатого волокна. Проведено моделирование распространения в оптическом волокне суперпозиции линейно-поляризованных мод с различными константами распространения и вихревыми фазовыми составляющими. Выполнено исследование основных свойств суперпозиций линейно-поляризованных мод идеального оптического волокна, таких как структурная стабильность, периодическое повторение и вращение поперечной картины.

Для того, чтобы исследовать неидеальные оптические волноводы, проанализировать и сравнить с полученными ранее результатами, в программном пакете VeamProp были созданы модели оптических волокон с различными параметрами, структурами и формами, изучены их возможности, свойства и характеристики.

Таким образом, с помощью программы VeamProp можно исследовать различные образцы неидеальных оптических волокон как со ступенчатым профилем показателя преломления, так и с задаваемым. Можно учесть следующие характеристики:

- профиль и показатель преломления оболочки;
- разницу показателей преломления;
- длину волновода;
- вид функции, по которой изменяется показатель преломления;
- и др. данные.

Особый интерес представляет изучение устойчивости вихревых мод к изгибам волокна при различных характеристиках сердцевины и оболочки оптического волокна.

#### Библиографический список

1. Berdague S., Facq P. Mode division multiplexing in optical fibers // *Appl. Optics*. 1982.V.21.P. 1950-1955.
2. Levi L. *Applied optics*// John Wiley & Sons Inc.,NewYork. 1980. P. 55.
3. Z. Wang, N. Zhang, X.-C. Yuan. High-volume optical vortex multiplexing and demultiplexing for free-space optical communication // *Optics Express*. 2011 V. 19. Issue. P. 482-492.
4. J. Wang. Terabit free-space data transmission employing orbital angular momentum multiplexing // *Nature Photonics*. June 2012. P.9.
5. A. E. Willner. Optical communications using orbital angular momentum beams // *Advances in Optics and Photonics*. 2015. 7(1). P. 6-106.
6. Khonina S.N., Volotovskiy S.G. Self-reproduction of multimode laser fields in weakly guiding stepped-index fibers // *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*, Allerton Press. 2007. 16(3).P.167-177.
7. Khonina S.N.,Kazanskiy N.L. and Soifer V.A. Optical vortices in a fiber: mode division multiplexing and multimode self-imaging // Chapter in "Recent progress in optical fiber research", ed. by M.Yasin, S.W. Harun, H. Arof, INTECH publisher. Croatia. 2012.