

*А. В. Воляр, А. В. Гнатовский, А. П. Логинов,
Н. В. Медведь, М. Т. Шпак*

УМЕНЬШЕНИЕ РАСХОДИМОСТИ СВЕТОВОГО ПУЧКА НА ВЫХОДЕ ВОЛОКОННОГО КАБЕЛЯ

Одной из важных задач современной волоконной оптики является проблема управления пространственно-угловыми характеристиками светового пучка, прошедшего через систему оптических световодов. Как известно, волоконные оптические элементы практически полностью искажают волновой фронт проходящего через них излучения, что выражается в значительном изменении поперечной структуры светового пучка и увеличении его расходимости. Это особенно характерно для жгутов, состоящих из большого числа волокон. Результаты, приводимые в настоящей работе, частично иллюстрируют возможность улучшения выходных характеристик прошедших через волоконный кабель световых пучков при помощи интерферометрического метода преобразования когерентных световых полей [1], который использовался для коррекции излучения со сложной поперечной структурой, представляющего собой суперпозицию гауссовых пучков [2] произвольных порядков. Универсальность этого метода по отношению к поперечной структуре преобразуемого излучения приводит к тому, что его можно особенно перспективно использовать для полей волоконных систем, так как модовая

структура на выходе волоконного жгута или кабеля практически неконтролируемым образом зависит от условий возбуждения.

Метод основан на преобразовании светового поля оптической системой, состоящей из модулятора волнового фронта, представляющего собой фазовый транспарант со специально подобранным коэффициентом

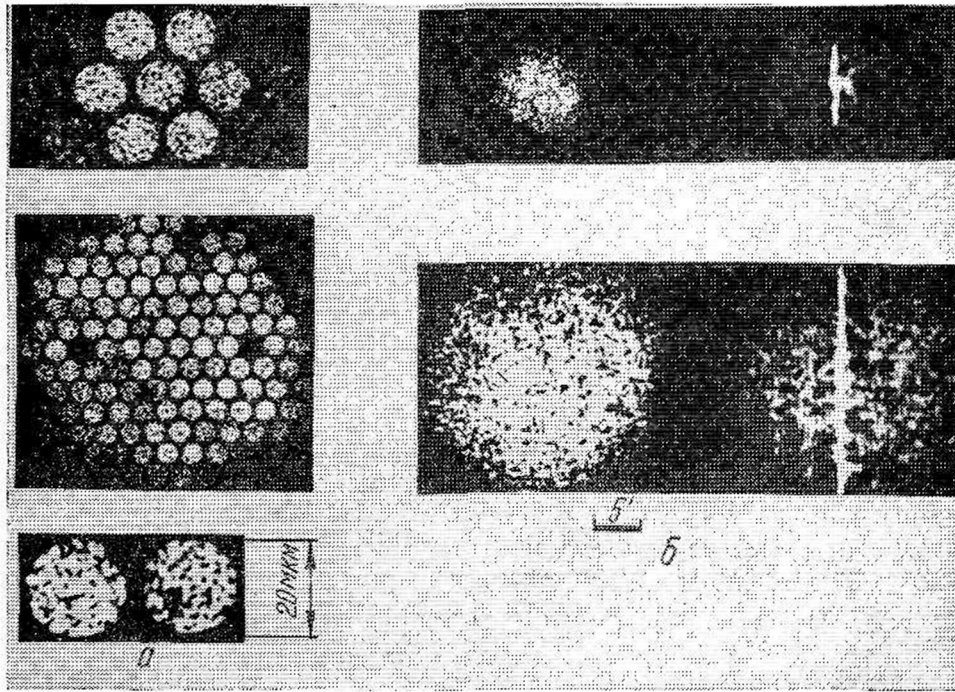


Рис. 1. Результаты коррекции поля на выходе волоконного кабеля, с различным числом возбуждаемых волокон: а — фотографии выходного торца волоконного кабеля (ближняя зона), б — угловые спектры пучков, прошедших через волоконный кабель до и после коррекции.

пропускания и элемента, осуществляющего интегральную операцию корреляции таким образом, чтобы угловой спектр проходящего через систему излучения выражался соотношением

$$\psi(x, y) \sim t(x, y) \otimes [t(x, y) S(x, y)], \quad (1)$$

где $t(x, y)$ — коэффициент пропускания модулятора, а $S(x, y)$ — распределение светового поля по сечению пучка. Из выражения (1) следует, что в угловом спектре будет наблюдаться резкий узкий максимум, тем ярче выраженный, чем с большей точностью пространственную автокорреляционную функцию модулятора $t(x, y) \otimes t(x, y)$ можно аппроксимировать δ -функцией. При этом поле преобразуемого светового пучка играет роль весового множителя в выражении для корреляционного интеграла (1) и, считая функцию $S(x, y)$ гладкой по сравнению с $t(x, y)$, можно ожидать незначительного изменения $\psi(x, y)$ при изменении поля исходного излучения.

Для экспериментального подтверждения изложенных соображений использовалась оптическая схема, которая позволяла осуществлять пре-

образование пространственно-угловых характеристик светового поля согласно выражению (1). Модулятор представляет собой фазовый транспарант типа зонной пластинки Френеля (для простоты рассматривалась одномерная задача) с комплексным пропусканием [3]

$$t(x, y) = \exp(i\varepsilon \sin \gamma x^2) \operatorname{rect}\left(\frac{x}{a}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{y}{a}\right), \quad (2)$$

где ε характеризует глубину фазового рельефа модулятора, а параметр γ связан с фокусным расстоянием зонной пластинки. Сомножитель

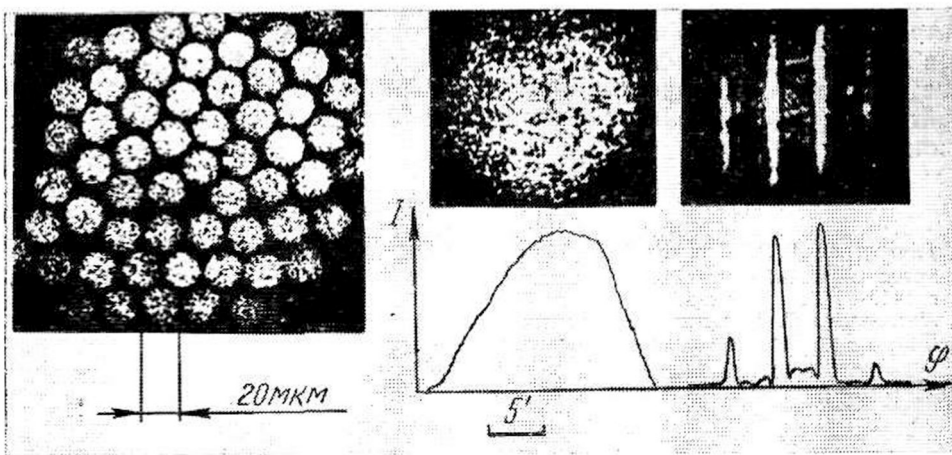


Рис. 2. Преобразование светового пучка при помощи периодического модулятора. Графики характеризуют распределение энергии в угловых спектрах исходного и преобразованного пучков.

$\operatorname{rect}\left(\frac{x}{a}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{y}{a}\right)$ определяет апертуру модулятора. Корреляция осуществлялась с помощью голограммы. На рис. 1 приведены результаты коррекции поля на выходе волоконного кабеля для различного числа возбуждаемых волокон при помощи описанной оптической системы. Отчетливо наблюдается яркий центральный максимум независимо от поля исходного излучения. Необходимо отметить, что с увеличением числа возбуждаемых волокон структура углового спектра светового пучка на выходе становится все более сложной, приближающейся к случайному распределению, характерному для диффузно рассеивающих объектов. Для преобразования таких полей необходимы модуляторы с очень тонкой структурой, и здесь может оказаться целесообразным использование модуляторов со стохастическим распределением рассеивающих центров в плоскости типа матового стекла, позволяющих получить результаты, аналогичные полученным при использовании модуляторов с коэффициентом пропускания (2).

Следует подчеркнуть, что возможности изложенного метода не ограничиваются вопросами расходимости и коррекции световых пучков. Подбором модуляторов с различными коэффициентами пропускания можно синтезировать пучок с заданным угловым спектром. На рис. 2 приводятся результаты преобразования поля волоконного кабеля с по-

мощью периодического модулятора с коэффициентом пропускания

$$t(x, y) = \exp(-i\varepsilon \sin 2\pi vx) \operatorname{rect}\left(\frac{x}{a}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{y}{a}\right), \quad (3)$$

с помощью которого можно получить пучок с угловым спектром в виде периодически расположенных максимумов, количество и угловые размеры которых можно изменять подбором параметров ε и v . Выбирая модуляторы с более сложными коэффициентами пропускания, можно получить другие распределения углового спектра в преобразованных пучках. Видно, что задача легко обобщается на двумерный случай, для чего естественно использовать двумерные модуляторы.

Приведенные в работе результаты позволяют наметить пути значительного расширения использования волоконных оптических элементов в оптической обработке информации, связи и т. д. К тому же, создание эффективных корректирующих элементов позволяет по новому подойти к вопросу стыковки различных частей волоконно-оптических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гнатовский А. В., Логинов А. П., Селезнев В. В., Шаак М. Т. Интерферометрический метод коррекции выходных характеристик газовых ОКГ.—УФЖ, 1977, 22, № 8, с. 1418—1420.
2. Литвищенко О. Н. Основы радиооптики. К., «Техника», 1974. 204 с.
3. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике. М., «Мир», 1971. 495 с.

Институт физики АН УССР,
г. Киев

Поступило в редакцию
9.XII 1977 г.