

лизированных входных сигналов проводится измерение зависимости квадрата модуля функции корреляции ($|K(0)|^2$) от номера элемента миры, используемого при считывании ВГ (рис. 4, кривая 1). Приведенная на этом же графике расчетная зависимость $|K(0)|^2$ (кривая 2) хорошо согласуется с экспериментальной при разности номеров элементов, используемых при записи и считывании, не более 4. Несовпадение зависимостей при большем отличии номеров элементов, по-видимому, связано с рассогласованием апертур ВГ и считывающей волны, а также отстройкой от брегговского резонанса.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность корреляционной обработки оптических сигналов с помощью фокусирующих ВГ с использованием безлинзового преобразования Фурье на стадии восстановления. Предложенный метод обработки оптических сигналов позволяет существенно упростить схему волноводного коррелятора, поскольку не требует применения фурье-линзы при формировании корреляционного сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А. С., Смирнов В. Л., Шмалько А. В. Оптические волноводные процессоры // Квантовая электроника.— 1987.— 14, № 7.
2. Тейлор Х. Ф. Волноводная оптика в процессорах и измерительных системах // ТИИЭР.— 1987.— 75, № 11.
3. Андриеш А. М., Кульчин Ю. И., Пономарь В. В., Смирнова А. С. Запись и считывание голограмм в планарном волноводе // Оптика и спектроскопия.— 1983.— 55, № 2.
4. Баблюян А. С., Морозов В. Н., Путилиц А. Н., Шермергор Т. Д. Волноводные голограммы в системах передачи, хранения и обработки информации // Труды физ. ин-та им. П. Н. Лебедева.— 1987.— 185.— С. 165.
5. Власов Н. Г., Фирсова О. В., Чернов В. И. Голограмма Френеля как комплексный фильтр // Оптика и спектроскопия.— 1971.— 31, вып. 5.
6. Казакевич А. В., Ламекин В. Ф., Миронос А. В., Смирнов В. Л. Волноводные голограммы на составных волноводных структурах // Автометрия.— 1986.— № 6.

Поступило в редакцию 22 мая 1989 г.

УДК 621.378.325

А. М. БАКИЕВ, С. Х. ВАЛИЕВ, Н. В. КРЯЖЕВ,
Е. Г. НИКОЛАЕВА, Б. Т. ЭЛЬТАЗАРОВ

(Ташкент)

ЛАЗЕРНАЯ ПРОЕКЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕРЕНОСА ИЗОБРАЖЕНИЙ С УСИЛИТЕЛЕМ ЯРКОСТИ

Введение. Создание квантовых усилителей яркости (КУЯ) позволило значительно расширить арсенал новых оптических приборов и устройств. В настоящее время разработаны и в достаточной мере изучены лазерные проекционные микроскопы (ЛПМ) и оптические системы для внутрирезонаторной обработки объектов, использующие КУЯ [1, 2].

В данной работе описана лазерная проекционная установка для переноса изображений на поверхности объектов, созданная на базе ЛПМ. Изучены особенности формирования лазерного пучка, передающего оптическую информацию. Приведены результаты, полученные с помощью данной установки.

Структурная схема. Структурная схема установки представлена на рис. 1. В качестве активного элемента использована газоразрядная трубка УЛ-102 на парах меди с источником питания ИП-18. Оптическая схема установки собрана на базе ЛПМ и содержит оптическую систему формирования передающего пучка (ОСФП), электромеханический затвор (ЭМЗ), объектив О, обрабатываемый объект ОО, светоделительные пластины СП1 и СП2, систему визуального контроля (СВК). Обрабатываемый объект ОО устанавливается на прецизионном координатном столе (КС) с шаговыми двигателями. Контроль мощности передающего пучка осуществляется с помощью фотоприемного устройства (ФПУ).

Управление работой установки осуществляется автоматизированной системой (АС). АС содержит блок управления (БУ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), блок индикации (БИ), блок сопряжения (БС) с системным каналом диалого-вычислительного комплекса ДВК-3, в состав которого входит микроЭВМ (МЭ), видеомонитор (ВМ), блок клавиатуры (БК), накопитель на гибких магнитных дисках (НГМД).

АС формирует сигналы управления ЭМЗ и положением объекта в плоскости обработки по программе управления, заложенной в памяти ДВК-3.

© 1990 Бакиев А. М., Валиев С. Х., Кряжев Н. В., Николаева Е. Г., Эльтазаров Б. Т.

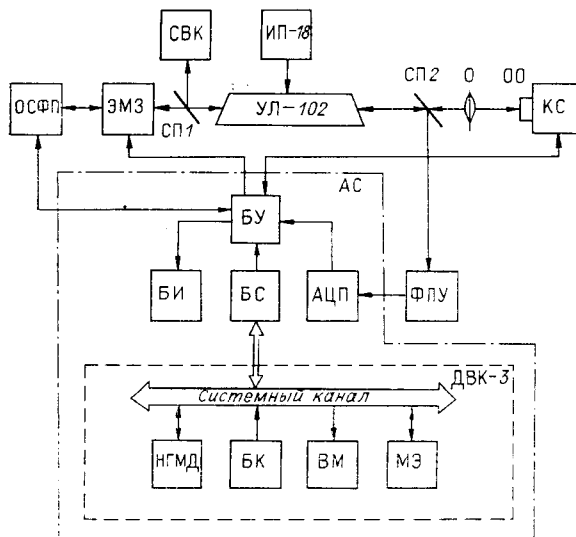


Рис. 1

ные, например глубину и скорость лазерного воздействия, с помощью блока клавиатуры на видеомониторе.

Оптическая схема. На рис. 2 приведена оптическая схема установки. Она состоит из двух каналов: визуального контроля СВК и оптической системы формирования передающего пучка ОСФП, действующих одновременно и независимо. Канал визуального контроля представляет собой схему ЛПМ [3] и включает активный элемент лазера на парах меди 1, объектив 2, объект 3, светоделительную пластинку 4 и проекционную оптическую систему 5 с экраном 6.

ОСФП состоит из рассеивающей линзы 7 и сферического зеркала 8. Она сфокусирована таким образом, чтобы обеспечить равномерную обработку в пределах всего поля зрения ЛПМ. Это достигалось путем подбора оптимального расстояния между линзой 7 и зеркалом 8, причем плоскость промежуточного изображения объекта 3, формируемая объективом 2, находилась вблизи фокальной плоскости линзы 7. Изображение, переносимое на объект, формировалось введением в ОСФП трафаретной маски 9. При открытом ЭМЗ 10 образовывался мощный лазерный пучок, возникающий за счет однопроходного усиления в режиме сверхсветимости излучения активного элемента, отраженного от сферического зеркала 8.

В резонаторе, образованном отражающей поверхностью объекта 3 и сферическим зеркалом 8, включающим в себя оптические элементы 1, 2 и 7, из-за высокого значения эффективного усиления активной среды и ограниченного времени жизни инверсной заселенности, сравнимого со временем двойного полного пробега световых импульсов сверхсветимости по резонатору, не мог установиться режим стоячих волн, и практически основная доля интенсивности обрабатывающего пучка, формируемого в ОСФП, приходилась на излучение однопроходной генерации, состоящей в основном из зеленой компоненты излучения активной среды с длиной волны 0,51 мкм.

Режим обработки устанавливался при помощи ЭМЗ с регулируемым временем экспонирования. Средняя мощность пучка, попадающего в апертуру объектива, составляла 200—250 мВт. Диаметр поля зрения ЛПМ менялся в зависимости от используемых объективов от 80 до 1000 мкм. Средняя мощность обрабатывающего пучка могла регулироваться с помощью откалиброванных светофильтров 11.

Особенности формирования передающего пучка. Обработка (перенос изображения элементов маски на поверхность объекта в пределах поля зрения ЛПМ) производилась излучением однопроходной генерации. Излучение сверхсветимости активного элемента, проходя через рассеивающую линзу 7, трафаретную маску 9, отражаясь от зеркала 8 и возвращаясь в активную среду, уси-

Установка работает следующим образом. Световой пучок при открытом ЭМЗ передает оптическую информацию на поверхность объекта в соответствии с режимом, установленным в ОСФП. Запись информации на поверхности осуществляется за счет преобразования структуры поверхности объекта лазерным излучением. Блок индикации отображает в цифровом виде среднюю мощность лазерного излучения, число шагов сканирования и направление движения объекта.

Управление работой ЭМЗ, шаговых двигателей и координатного стола осуществляется в двух режимах: от микроЭВМ (автоматический режим) и вручную с нуля блока управления АС. Система работает в диалоговом режиме. В процессе исследований можно изменять начальные дан-

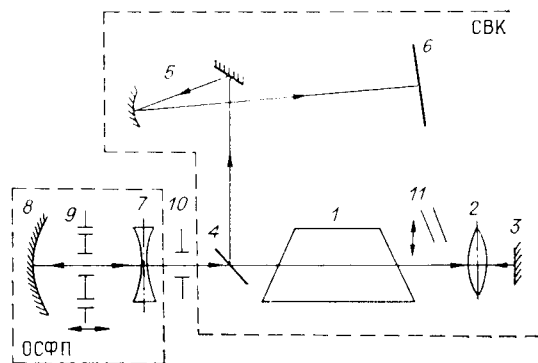


Рис. 2

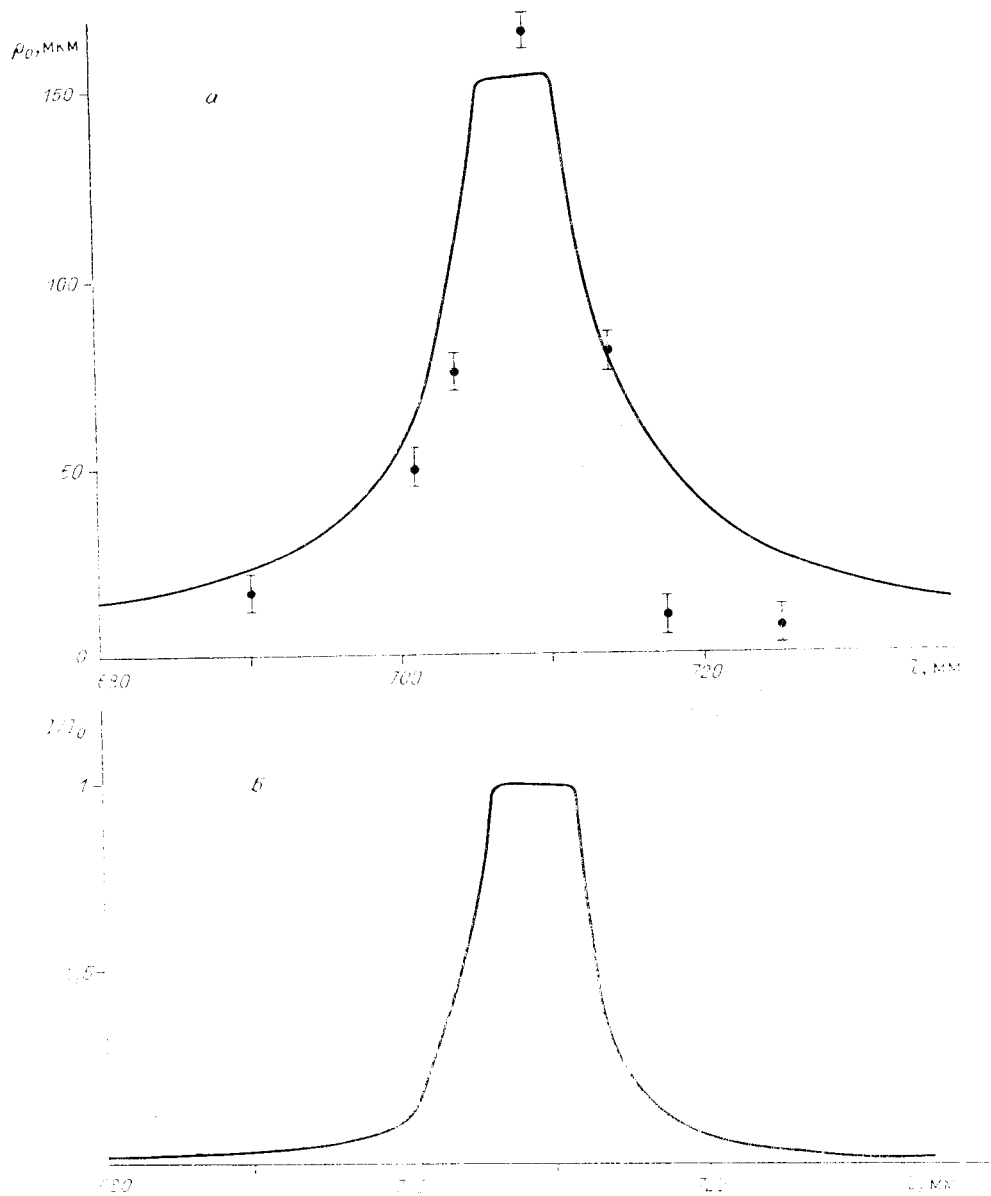


Рис. 3

ливалось и могло достигать значения насыщения. Мощный пучок однопроходной генерации с пространственной структурой амплитуды, соответствующей рисунку трафаретной маски, фокусировался на объект. Обработка поверхности объекта могла производиться за счет того или иного вида воздействия лазерного излучения на поверхность (термического, пиролитического, фотохимического и др.).

Формирование и распространение световых пучков в рассматриваемом резонаторе может быть описано методами матричной оптики [4]. Луч, выходящий из активного элемента параллельно оптической оси на расстоянии x от нее, после прохождения через ОСФП попадает в активную среду с координатами

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x \left(1 - \frac{2l\Delta}{fR} \right); \\
 \alpha_1 &= -\frac{2x}{f^2 R} (l + f) \Delta; \\
 \Delta &= l + f - R,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где l — расстояние от линзы до зеркала δ ; $(-f)$ — фокусное расстояние рассеивающей линзы; R — радиус кривизны зеркала; x_1 — расстояние до оптической оси; α_1 —

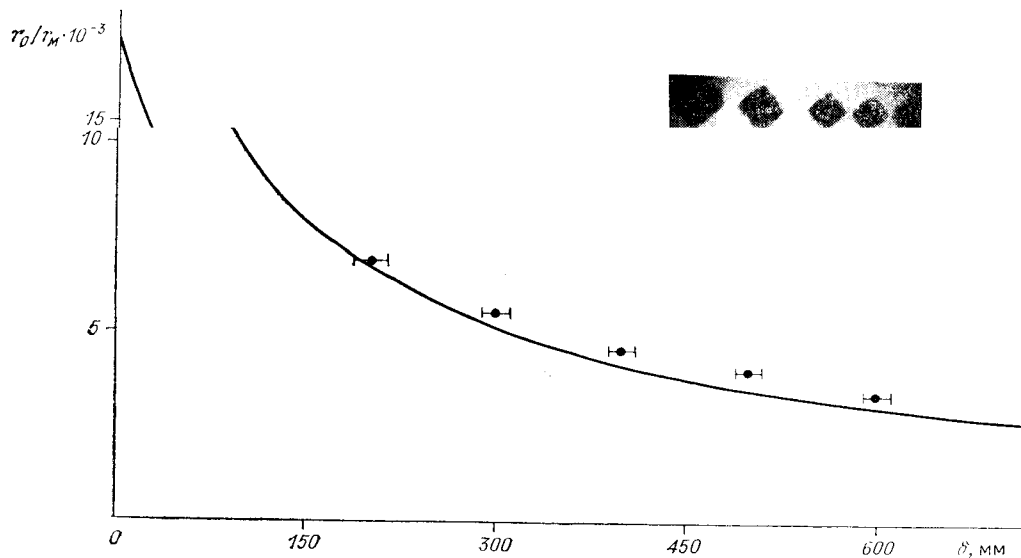


Рис. 4

угол наклона к оптической оси. После прохождения через активную среду и объектив луч попадает на объект в точку, находящуюся на расстоянии x_0 от оптической оси, где

$$x_0 = x \left[\varepsilon \left(1 - \frac{2l\Delta}{fR} - \frac{2f_0\Delta}{f^2} \left(\frac{b}{f_0} - 1 \right) \right) + \frac{1}{\frac{b}{f_0} - 1} \left(1 - \frac{2l\Delta}{fR} \right) \right]; \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{a}{f_0} - 1 - \frac{1}{\frac{b}{f_0} - 1} = \frac{1}{\frac{b'}{f_0} - 1} - \frac{1}{\frac{b}{f_0} - 1}.$$

Здесь f_0 — фокусное расстояние объектива; b — расстояние от рассеивающей линзы до объектива; a — расстояние от объектива до объекта; b' — расстояние от объектива до плоскости промежуточного изображения объекта.

При этом должны выполняться условия

$$\left| x \left(1 - \frac{2\Delta}{f} \left(\frac{l}{R} + \frac{b}{f} \right) \right) \right| \leq r_{\text{об}}, \quad x \leq x_{\text{max}}, \quad (3)$$

где $r_{\text{об}}$ — радиус входного окна объектива; x_{max} — радиус пятна сверхсветимости на выходе из активного элемента.

Доля интенсивности излучения однопроходной генерации, попадающая на объект, равна

$$I/I_0 = (x_A/x_{\text{max}})^2, \quad (4)$$

где I_0 — полная интенсивность излучения однопроходной генерации; величина x_A — максимальное значение x , удовлетворяющее условию (3):

$$x_A = \begin{cases} x, & x \leq x_{\text{max}}; \\ x_{\text{max}}, & x > x_{\text{max}}; \end{cases} \quad (5)$$

$$x = r_{\text{об}} \left| 1 - \frac{2\Delta}{f} \left(\frac{l}{R} + \frac{b}{f} \right) \right|^{-1}.$$

Тогда, подставляя в (2) вместо x значение x_A из (5), получим зависимость радиуса пучка однопроходной генерации на объекте $\rho_0 = x_0 (x = x_A)$ от расстояния между рассеивающей линзой и сферическим зеркалом резонатора l . График зависимости $\rho_0(l)$ приведен на рис. 3, а, причем при расчетах по формулам (2) и (5) использованы значения параметров, соответствующих экспериментально реализованной схе-

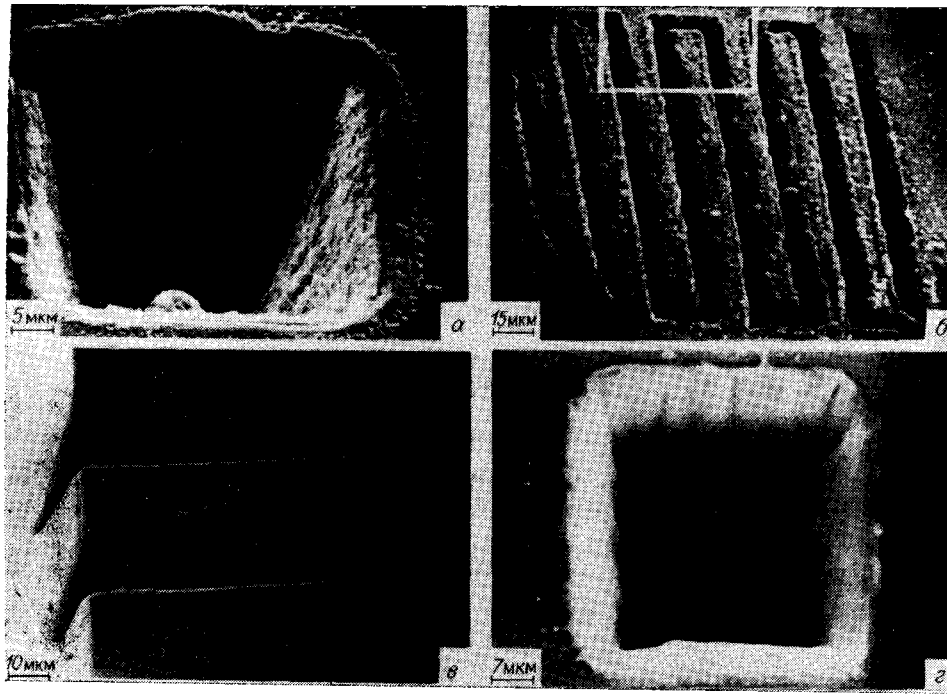


Рис. 5

ме. На рисунке приведены также значения радиуса пучка однопроходной генерации, определенные экспериментально с экрана СВК по результатам измерения размеров обработанного участка объекта, в зависимости от величины l . График зависимости величины l/l_0 от l в соответствии с формулой (4) представлен на рис. 3, б.

Из рис. 3 видно, что существует оптимальное значение величины $l = l_{opt}$, позволяющее сформировать в ОСФП пучок излучения однопроходной генерации с диаметром на поверхности объекта, равным диаметру поля зрения ЛПМ. Более того, правильный подбор l_{opt} для конкретного объектива 2 позволяет достичь почти П-образного распределения интенсивности по сечению передающего пучка, что обеспечивает равномерную обработку объекта по всему полю зрения ЛПМ.

При этом выбранная оптическая схема обладает той особенностью, что при перемещении маски вдоль оптической оси качество изображения на поверхности объекта остается высоким, а изменяется лишь его масштаб. Зависимость отношения характерного размера элемента рисунка на объекте r_0 к характерному размеру рисунка маски r_m от параметров оптической системы и расстояния δ от рассеивающей линзы до трафаретной маски определяется по формуле

$$\frac{r_0}{r_m} = \frac{\left| \varepsilon \left(1 - \frac{2l\Delta}{fR} - \frac{2f_0\Delta}{f^2} \left(\frac{b}{f_0} - 1 \right) \right) + \left(\frac{b}{f_0} - 1 \right)^{-1} \left(1 - \frac{2l\Delta}{fR} \right) \right|}{1 + \frac{\delta}{f} - \frac{2(l-\delta)}{fR} \Delta} \quad (6)$$

На рис. 4 приведен график зависимости r_0/r_m от δ для экспериментально реализованной схемы. На вставке представлена фотография обработанных участков в форме квадратов, полученных на кремниевой подложке при помощи маски, представляющей собой непрозрачную пластинку с вырезанным квадратом со стороной 10 мм. На фотографии, выполненной с экрана СВК, достаточно отчетливо видно изменение масштаба обработки в зависимости от изменения δ .

Экспериментальные результаты. На рис. 5 приведены микрофотографии участков обработки, производимой на данной установке. Фотографии получены с помощью сканирующего электронного микроскопа.

На рис. 5, а представлен результат обработки полупроводниковой пластины GaAs *n*-типа, поверхность которой находилась в контакте с водным раствором HNO_3 (концентрация раствора составляла 5%, время экспонирования $t = 3$ мин, средняя плотность мощности излучения в зоне обработки $s_0 = 5$ кВт/см²). Полученный результат является следствием лазерного термохимического травления. Искажения края вызваны движением растворенного материала, вытесняемого из облученной зоны.

На рис. 5, 6 показан участок поверхности тройного соединения $\text{Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$ после обработки в условиях атмосферы ($t = 5$ с, $s_0 = 5$ кВт/см²). Характерные искажения вызваны испарением и плавлением вещества вне области облучения, которые обусловлены теплопроводностью материала.

Обработка в откачиваемой камере приводит к существенному улучшению качества обработки полупроводника $\text{Cd}_{0.2}\text{Hg}_{0.8}\text{Te}$ (рис. 5, в, г, давление остаточного газа в камере $4-10^{-2}$ мм рт. ст., $t = 1$ мин, $s_0 = 5$ кВт/см²). В этом случае удаление вещества из зоны обработки происходит путем прямого испарения вещества за счет абляционных процессов.

Таким образом, описанная в настоящей работе установка может найти применение в различных областях обработки материалов лазерным излучением. Результаты, полученные в данной работе, позволяют правильно выбирать конструкцию установки и определять условия ее эксплуатации в зависимости от требований и характера решаемых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петраш Г. Г. Усилители яркости для оптических приборов // Вестник АН СССР.— 1982.— № 2.
2. Земсков К. И., Казарян М. А., Петраш Г. Г. и др. Внутррезонаторная обработка объектов в активной оптической системе // Кр. сообщ. по физике ФИАН СССР.— 1988.— № 5.
3. Земсков К. И., Исаев А. А., Казарян М. А., Петраш Г. Г. Исследование основных характеристик лазерного проекционного микроскопа // Квантовая электрон.— 1976.— 3, № 1.
4. Джеррард А., Берч Дж. М. Введение в матричную оптику.— М.: Мир, 1978.

Поступило в редакцию 28 июля 1989 г.

УДК 535.3 : 681.3

А. Г. КОНОХОВ, Е. Н. ПАВЛОВ, В. Ф. ТЕРЗИ
(Казань)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ИЗОТРОПНЫХ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ ЭКРАНОВ

Синтезированные амплитудно-фазовые случайные экраны играют важную роль во многих задачах оптической обработки изображений [1, 2], а также при имитации переноса изображений через турбулентную или рассеивающую атмосферу [3, 4]. Существующие алгоритмы моделирования таких случайных экранов [5] являются слишком медленными (требуют большого времени счета) и весьма трудоемки при контроле оптических характеристик синтезированных экранов (необходимо выполнить прямое и обратное преобразование Фурье).

Настоящая работа посвящена разработке и реализации эффективного алгоритма моделирования случайных однородных и изотропных полей, при помощи которых можно синтезировать случайные поглощающие и фазовые экраны более широкого класса, чем используемые диффузоры [6] или «шахматные» экраны [1, 4].

Методика расчета. По аналогии с одномерным процессом авторегрессии (АР) [7] введем двумерный процесс АР в виде

$$X(n, m) = \sum_{l=-M}^{-M} \sum_{k=-M}^{-M} F(l, k) X(n-l, m-k) + U_{\sigma}(n, m), \quad (1)$$

где $(2M+1) \times (2M+1)$ — область определения элементов матрицы $F(l, k)$; $U_{\sigma}(n, m)$ — белый шум с дисперсией $(\sigma_{\sigma})^2$; n, m — номера элементов матрицы дискретного случайного поля $X(n, m)$.

Наиболее простая модель двумерного процесса АР — представление случайного поля в виде одномерных процессов АР первого порядка [7] по строкам, столбцам и диагонали матрицы поля, т. е.

$$X(n, m) = AX(n, m-1) + BX(n-1, m) + CX(n-1, m-1) + U_{\sigma}(n, m). \quad (2)$$

Последовательность элементов матрицы (1) или (2) вдоль различных направлений соответствует одномерному процессу АР. Значения коэффициентов A, B, C должны удовлетворять условиям стационарности и обратимости процесса. Автокорреляционная функция ρ , дисперсия σ_x^2 и спектр мощности $S(\nu, \alpha)$ случайного поля (2) вдоль