

М.А. Воронцов, А.Ф. Наумов, В.П. Сивоконь

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФАЗОЙ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В СИСТЕМЕ МИКРОЭВМ - ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ МОДУЛЯТОР СВЕТА

Среди оптических элементов, предназначенных для решения задач формирования световых полей с заданным распределением интенсивности в области фокусировки, наибольшее распространение получили киноформные элементы [1]. Киноформный элемент позволяет создать неизменное во времени оптическое поле. Для ряда приложений актуальны задачи синтеза перестраиваемых оптических элементов, позволяющих формировать распределение интенсивности, изменяющееся во времени по заданному закону. В какой-то степени эта задача может быть решена с помощью управляемых от ЭВМ гибких зеркал [2]. Однако сравнительно низкое пространственное разрешение при управлении профилем поверхности зеркала не позволяет формировать достаточно сложные профили фазы.

В настоящей работе для синтеза перестраиваемых оптических элементов применялся пространственно-временной модулятор света (ПВМС), управляемый от ЭВМ с помощью специальной электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Профиль фазы, обеспечивающий заданное распределение интенсивности в области фокусировки, рассчитывался путем оптимизации функционала невязки [3]:

$$J = \iint [I_u(\vec{r}') - I_s(\vec{r}')]^2 d^2 \vec{r}', \quad (1)$$

где $I_s(\vec{r}')$ - распределение интенсивности в плоскости фокусировки ($r = \{x', y'\}$), которое требуется получить. $I_u(\vec{r}')$ - распределение интенсивности, соответствующее некоторому профилю фазы $U(\vec{r})$, ($\vec{r} = \{x, y\}$ - вектор в плоскости ПВМС). Оптимизация функционала (1) позволяет найти профиль фазы $U_0(\vec{r})$ фокусатора.

В качестве ПВМС использовался жидкокристаллический оптически управляемый транспарант с фотопроводником из GaAs, работающий на электрооптическом S-эффекте [4]. Управление фазой световой волны, отраженной от транспаранта, осуществлялось за счет модуляции яркости на экране ЭЛТ, которая соединялась с фотопроводником ПВМС посредством стекловолоконных пластин и эмерсионной жидкости (глицерина). Величина рабочей апертуры определялась размером изображения на экране ЭЛТ и составляла 19 × 19 мм. Разрешение ПВМС с ЭЛТ, измеренное по полуспаду частотно-контрастной характеристики составляло ~2 лин/мм. Сравнительно низкое

разрешение системы связано с несовпадением максимумов от спектральной чувствительности фотопроводника и спектра светимости люминофора (К-77) ЭЛТ.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Коллимированный световой пучок He-Ne лазера отражался от диэлектрического зеркала транспаранта, расположенного за слоем жидкого кристалла. Вектор поляризации световой волны совпадал с направлением исходной ориентации жидкого кристалла, что позволяло получить модуляцию фазы световой волны. Величина фазовой задержки в слое жидкого кристалла выражается соотношением

$$U(\vec{r}) = 2kd[n_0 - \Delta n(\vec{r})], \quad (2)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ - волновое число, d - толщина слоя, $\Delta n(\vec{r})$ - изменение показателя преломления под действием управляющего распределения яркости ЭЛТ, освещающей фотопроводник, n_0 - невозмущенное значение показателя преломления.

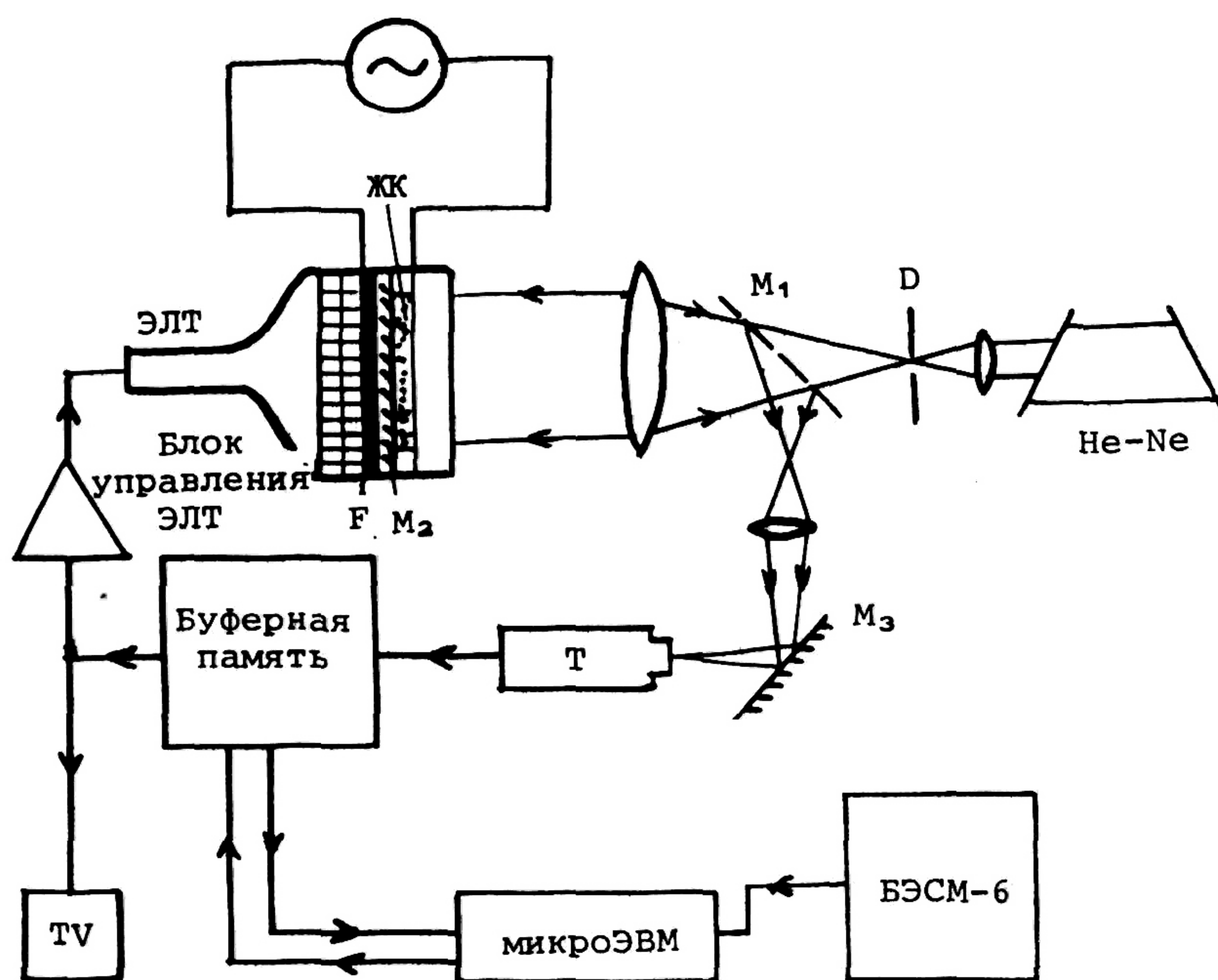


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: D - диафрагма, M_1 - полупрозрачное зеркало, M_2 - диэлектрическое зеркало ПВМС, F - фотопроводник, M_3 - поворотное зеркало, Т - телекамера, TV - телемонитор

Выбирался такой режим работы транспаранта, при котором изменение показателя преломления $\Delta n(\vec{r})$ пропорционально яркости управляющего изображения $B(\vec{r})$, тогда

$$U(\vec{r}) = \gamma B(\vec{r}) + \phi_0(\vec{r}), \quad (3)$$

где γ - коэффициент пропорциональности, $\phi_0 = 2kdn_0$ - стационарный сдвиг фазы. Функция $\phi_0(\vec{r})$ определяет оптическое качество транспаранта, как элемента для управления фазой световой волны.

Требуемое управляющее распределение яркости $B(\vec{r})$ рассчитывалось с помощью ЭВМ БЭСМ-6 и представлялось в виде массива чисел из 256×256 элементов. Этот массив заполнял буферную память, связанную с микроЭВМ. Буферная память с помощью цифроаналоговых преобразователей визуализировалась на экране ЭЛТ. Для контроля распределения интенсивности в области фокусировки использовалась система ввода изображения в ЭВМ с помощью телекамеры.

В эксперименте ставилась задача из исходного гауссовского пучка

$$I(\vec{r}) = I_0 \exp(-r^2/a^2), \quad (4)$$

(a - радиус пучка) на некотором расстоянии z от модулятора, в пределах квадрата со стороной $2b_f$ получить почти равномерное (супергауссовское) распределение интенсивности:

$$I_s(\vec{r}) = I_0 \exp[-(x/b_f)^{10} - (y/b_f)^{10}]. \quad (5)$$

Такого рода задачи характерны для ряда приложений, когда в области фокусировки требуется получить световой пучок с возможно более равномерным распределением интенсивности. Обычно размер области фокусировки $2b_f$ много меньше ширины начального пучка $2a$. В силу симметрии задачи, фазовая функция фокусатора $U_0(\vec{r})$ может быть представлена в виде произведения функций $\Phi(x)\Phi(y)$. Функции $\Phi(x)$ и $\Phi(y)$ искали в виде разложения по полиномам Эрмита $H_j(x)$, $H_j(y)$:

$$U_0(\vec{r}) = \Phi(x)\Phi(y) = \sum_j \alpha_j H_j(x/a) \sum_j \alpha_j H_j(y/a) \exp(-x^2/2b^2 - y^2/2b^2). \quad (6)$$

Учитывались лишь первые четыре четных полинома Эрмита ($j = 2, 4, 6, 8$). Из решения на ЭВМ БЭСМ-6 задачи минимизации функционала (1) были найдены коэффициенты разложения α_j : $\alpha_2 = 0,735$, $\alpha_4 = 0,726$, $\alpha_6 = -1,099$, $\alpha_8 = -0,743$ [3]. Для синтеза требуемого фазового профиля на фоточувствительном слое ПВМС было сформировано распределение яркости в соответствии с выражением (6) (рис. 2А). Величина b в эксперименте полагалась равной 1,5. В результате в квадрате со стороной 2 мм в плоскости фокусировки было получено распределение интенсивности, изображенное на рис. 2С. Исходное распределение интенсивности в плоскости фокусировки показано на рис. 2В.

Отличие, полученного в эксперименте распределения, от расчетного связано с отклонением профиля исходного пучка от гауссовского и наличием неучтенных aberrаций в оптическом тракте системы, прежде всего оптической неоднородности самого транспаранта.

Для фокусировки светового пучка в "кольцо" фазовый профиль (управляющее распределение яркости на экране ЭЛТ) задавался в виде суммы первых трех четных полиномов Цернике:

$$U_0(\vec{r}) = \sum_{j=1}^3 \beta_j Z_j(\vec{r}). \quad (7)$$

Управляющее распределение яркости на экране ЭЛТ при $\beta_1 = 1$, $\beta_2 = -50$, $\beta_3 = 50$ и распределение интенсивности лазерного излучения в плоскости фокусировки показаны на рис. 2Д,Е.

Проведенные эксперименты показывают, что существует реальная перспектива создания перестраиваемых от ЭВМ оптических элементов, управляющих когерентным излучением. Основная проблема состоит в разработке ПВМС с хорошим оптическим качеством.

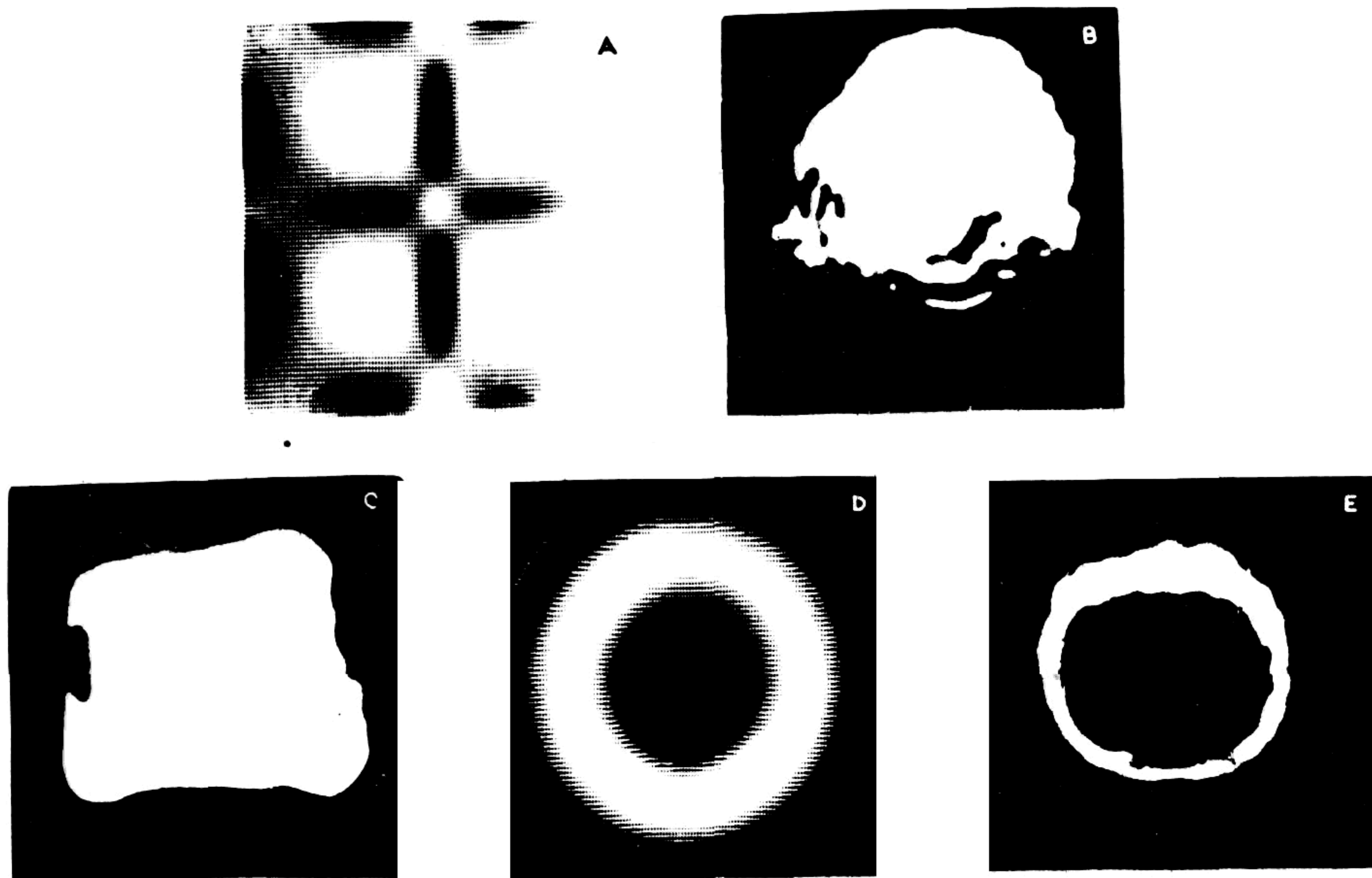


Рис. 2. Экспериментальные результаты. Управляющее распределение яркости $B(\vec{r})$ на экране ЭЛТ при фокусировке излучения в прямоугольную область (А) и в кольцо (D); (С)-(Е) - распределение интенсивности в плоскости фокусировки $I_{\text{фо}}(\vec{r})$, соответствующее управляющим изображениям: (С) - при фокусировке в прямоугольную область, (Е) - при фокусировке в кольцо, (В) - исходное распределение при $B(\vec{r}) = \text{const}$

Л и т е р а т у р а

1. Коронкевич В.П., Ленкова Г.А., Михальцева И.А., Пальчикова И.Г., Полещук А.Г., Седухин А.Г., Чурин Е.Г., Юрлов Ю.И. // Автометрия, 1985. Вып. 1. С. 4-25.
2. Воронцов М.А., Кудряшов И.А., Шмальгаузен В.И. Адаптивный метод синтеза фокусатора когерентного излучения. М.: Препринт МГУ. 1987. Вып. 1.
3. Воронцов М.А., Матвеев А.М., Сивоконь В.П. // ДАН СССР. Сер. Физика, 1986. Т. 290. С. 1354-1358.
4. Компанец И.Н., Парфенов А.В., Попов Ю.М. // Квантовая электроника, 1979. Т. 6. Вып. 8. С. 1810-1812.