

## ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С МНОГОСЕКТОРНЫМИ ПОЛЯМИ ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При создании ряда устройств обработки информации, технического зрения и т.п. возникает необходимость построения оптических систем с многосекторными полями зрения. Такие системы должны обеспечивать пространственное совмещение изображений эквидистантных предметов, наблюдаемых под различными углами. С функциональной точки зрения системы с многосекторными полями состоят из двух основных компонентов: демультипликатора, осуществляющего совмещение пучков, распространяющихся под различными углами, и объектива, формирующего изображение.

Наиболее простым по конструкции демультипликатором является дифракционная решетка, формирующая в различных дифракционных порядках пучки одинаковой интенсивности [1]. Если при этом в качестве объектива используется одиночная дифракционная линза, то вся система в целом может быть изготовлена в виде одной оптической детали – плоскопараллельной пластины, на противоположных гранях которой выполнены линейная и кольцевая рельефно-фазовые дифракционные структуры. Работа такой пластины в каждом порядке дифракционной решетки, за исключением нулевого, эквивалентна работе внеосевого голограммного оптического элемента (ГОЭ).

Фокусирующие и аберрационные свойства внеосевого ГОЭ, формирующего изображение на сферической поверхности, рассмотрены в работе [2]. Учитывая, что приемники излучения, как правило, рассчитаны на сопряжение с оптическими системами, формирующими плоское изображение, в настоящей работе рассматриваются фокусирующие и аберрационные свойства внеосевого ГОЭ при формировании изображения на плоскости, нормальной к оси наблюдения.

Наиболее общая голографическая схема получения внеосевого ГОЭ, предназначенного для формирования изображения достаточно удаленных объектов, представлена на рис. 1. На длине волны записи  $\lambda_0$  ГОЭ будет формировать безаберрационное изображение бесконечно удаленного точечного источника, расположенного на прямой  $O_1O$ . Эту прямую, являющуюся осью коллимированного пучка записи, в дальнейшем будем называть осью диаграммы направленности ГОЭ на длине волны  $\lambda_0$ . Ось  $OO'$ , в точке  $O'$  которой будет формироваться безаберрационное изображение, назовем осью наблюдения, саму точку  $O'$  – фокусом ГОЭ, а расстояние  $OO' = f'_0$  – фокусным расстоянием элемента.

Если бесконечно удаленный точечный источник не находится на оси диаграммы направленности или длина волны его излучения  $\lambda$  не совпадает с  $\lambda_0$ , то изображение источника смещается из точки  $O'$  и искажается абер-

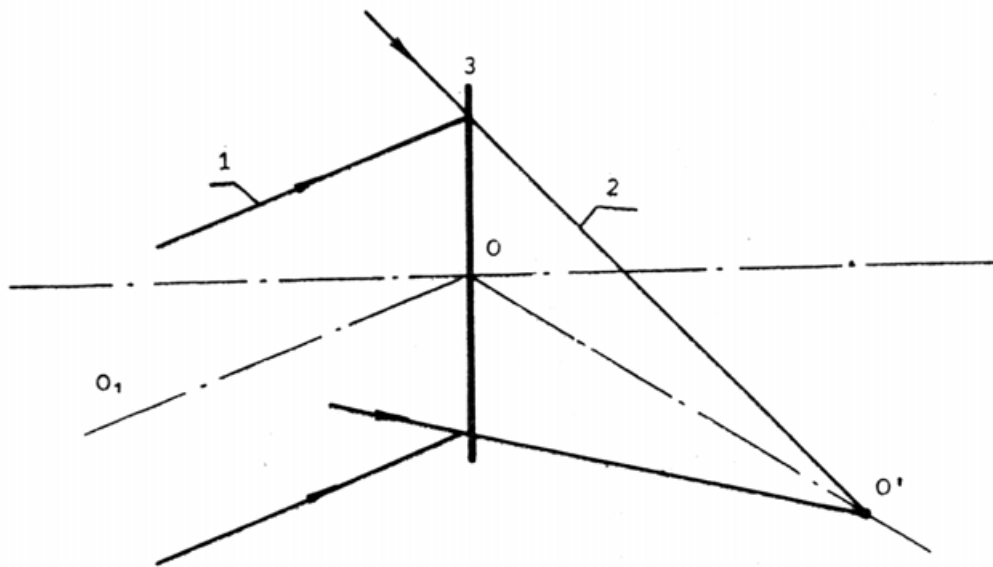


Рис. 1. Голографическая схема получения внеосевого ГОЭ:

- 1, 2 - коллимированный и сходящийся пучки записи;
- 3 - плоскость записи

рациями. Для определения параксиальных координат изображения и оценки aberrаций в этом случае необходимы формулы расчета хода лучей через внеосевой ГОЭ. Такие формулы могут быть получены с использованием аппарата, изложенного в работе [3].

В системе координат  $XYZ$ , в которой начало координат совпадает с центром апертуры ГОЭ, плоскость  $YOZ$  проходит через оси диаграммы направленности и наблюдения, а ось  $OZ$  нормальна к плоскости ГОЭ (рис. 2), формулы, связывающие направляющие косинусы падающего  $(m_x, m_y, m_z)$  и дифрагированного  $(m'_x, m'_y, m'_z)$  лучей имеют вид

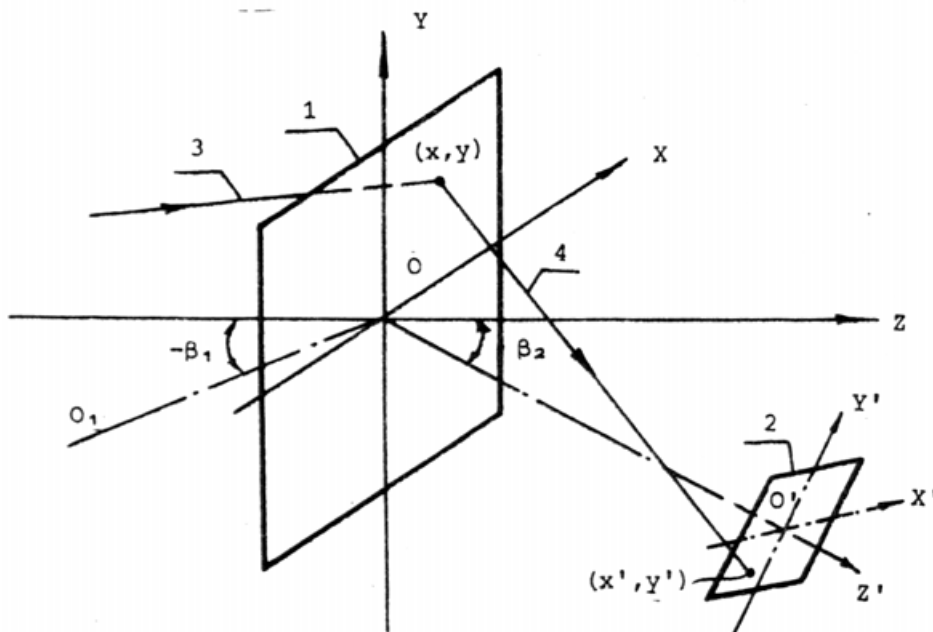


Рис. 2. К расчету хода лучей через внеосевой ГОЭ:

- 1 - плоскость дифракционной структуры ГОЭ;
- 2 - фокальная плоскость элемента; 3, 4 - падающий и дифрагированный лучи

$$\left. \begin{aligned} m'_x &= m_x - \mu \Omega x; \\ m'_y &= m_y - \mu [\sin \beta_1 + \Omega (y - f'_0 \sin \beta_2)]; \\ m'_z &= \sqrt{1 - m'^2_x - m'^2_y}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

$$\Omega = \frac{1}{f'_0} \left( 1 + \frac{x^2 + y^2}{f'^2_0} - \frac{2y \sin \beta_2}{f'_0} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

$$\mu = \lambda / \lambda_0.$$

Формулы (1) получены в предположении, что ГОЭ работает в минус первом порядке дифракции и находится в воздухе.

Координаты точки пересечения дифрагированного луча с фокальной плоскостью (плоскостью, нормальной к оси наблюдения и отстоящей на расстоянии  $f'_0$  от центра апертуры ГОЭ) в системе координат  $X'Y'Z'$ , связанной с этой плоскостью и осью наблюдения (см. рис. 2), имеют вид

$$\left. \begin{aligned} x' &= x + Gm'_x; \\ y' &= y + G(m'_y \cos \beta_2 - m'_z \sin \beta_2), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

$$G = \frac{f'_0 - y \sin \beta_2}{m'_y \sin \beta_2 + m'_z \cos \beta_2}. \quad (4)$$

Обозначим через  $\xi$  ( $\xi'$ ) тангенс угла между падающим (дифрагированным) лучом и плоскостью  $YOZ$ , то есть меридиональной плоскостью; через  $\eta$  ( $\eta'$ ) - тангенс угла между падающим (дифрагированным) лучом и осью диаграммы направленности ГОЭ (осью наблюдения), измеренный в меридиональной плоскости. Параксиальные формулы и формулы для абберационных коэффициентов можно получить, разложив выражения (1)-(4) в ряды по степеням  $x$ ,  $y$ ,  $\xi$ ,  $\eta$  и ограничив их членами требуемого порядка малости. В параксиальном приближении ряды ограничиваются членами первого порядка и из (1)-(4) получаем

$$\left. \begin{aligned} x' &= f'_0 \xi + M_{1000}^{xp} x \\ y' &= f'_0 \eta + M_{0001} \eta + M_{0000}^{xp} + M_{0100}^{xp} Y, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} M_{1000}^{xp} &= -\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0}; \\ M_{0000}^{xp} &= -f'_0 \left( \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \right) \left( \frac{\sin \beta_1 - \sin \beta_2}{\cos \beta_2} \right); \\ M_{0100}^{xp} &= -\left( \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \right) \cos \beta_2; \\ M_{0001} &= -f'_0 \left( 1 - \frac{\cos \beta_1}{\cos \beta_2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Первые три коэффициента выражений (6) определяют хроматизм внеосевого ГОЭ:  $M_{1000}^{xp}$  - сагиттальный хроматизм первого порядка,  $M_{0000}^{xp}$  и  $M_{0100}^{xp}$  - меридианальный хроматизм соответственно нулевого и первого рядков. Коэффициент  $M_{0001}$  характеризует анаморфотность внеосевого ГОЭ.

Переходя к определению первичных монохроматических aberrаций, отметим, что у оптических систем, не имеющих оси симметрии, первичными являются aberrации второго порядка. Полагая в формулах (1)  $\mu = 1$ , разлагая (1)-(4) в степенные ряды и ограничиваясь членами второго порядка малости относительно величин  $x$ ,  $y$ ,  $\xi$  и  $\eta$ , получим для внеосевого ГОЭ следующие выражения первичных монохроматических aberrаций:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x'_2 &= M_{0110} y \xi; \\ \Delta y'_2 &= M_{1010} x \xi + M_{0101} y \eta + M_{0020} \xi^2 + M_{0002} \eta^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где

$$\left. \begin{aligned} M_{0110} &= -\sin \beta_2; \\ M_{1010} &= -\operatorname{tg} \beta_2; \\ M_{0101} &= -2 \cos \beta_1 \operatorname{tg} \beta_2; \\ M_{0020} &= \frac{1}{2} f'_0 \operatorname{tg} \beta_2; \\ M_{0002} &= \frac{1}{2} f'_0 \left( \frac{\cos^2 \beta_1 \sin \beta_2 - \sin \beta_1 \cos^2 \beta_2}{\cos^3 \beta_2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В соответствии с работой [4] дадим следующие названия полученных aberrационных коэффициентов:

$M_{0110}$ ,  $M_{1010}$  и  $M_{0101}$  - коэффициенты астигматизма;  
 $M_{0002}$  и  $M_{0020}$  - соответственно коэффициенты масштабной и параболической дисторсии.

Приведенные здесь выражения могут быть положены в основу расчета и анализа оптических систем, включающих внеосевые ГОЭ, и в частности дифракционных систем с многосекторными полями зрения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Б о б р о в С.Т., К о т л е ц о в Б.Н., М и н а к о в В.И., Т у р к е в и ч Ю.Г. Дифракционные решетки с порядками одинаковой интенсивности // Голографические измерительные системы. Вып. 2. Новосибирск, 1979, с. 123-128.

2. С h a m p a g n e Е.В. Nonparaxial Imaging, Magnification and Aberration Properties in Holography. J.Opt. Soc. Am. 1967, 57, № 1, p. 51-55.

3. Б о б р о в С.Т., Г р е й с у х Г.И., Т у р к е в и ч Ю.Г. Оптика дифракционных элементов и систем. Л.: Машиностроение, 1986, 223 с.

4. Вычислительная оптика: Справочник / М.М. Русинов, А.П. Грамматин, П.Д. Иванов и др. Л.: Машиностроение, 1984, 423 с.