

РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

С. И. Соскин и С. А. Шойдин

Рассмотрена методика расчета обобщенной схемы голографического запоминающего устройства (ГЗУ) с учетом дифракционных и абберационных ограничений. Показано, что в ГЗУ существенными являются лучевые абберации записывающей, воспроизводящей оптики и оптики формирования опорного пучка. В зависимости от конкретного вида оптической схемы их влияние различно. Введена функция рассеяния ячейки, характеризующая размер и форму восстановленных ячеек, и проведен ее анализ в случае восстановления действительного и мнимого изображений.

Для записи и хранения оптической информации могут быть использованы голографические запоминающие устройства (ГЗУ). Наиболее распространен тип устройств с записью массивов информации на мини-голограммы, со считыванием необходимой страницы информации матрич-

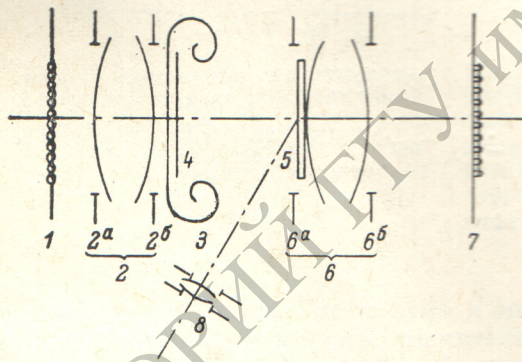


Рис. 1.

1 — линзовый растр, 2 — первая отображающая система, 2а, 2б — входной и выходной лучи системы 2, 3 — матрица входных данных (транспарант), 4 — случайная фазовая маска, 5 — матрица голограмм, 6 — вторая отображающая система, 6а, 6б — входной и выходной лучи системы 6, 7 — матрица фотоприемников, 8 — оптика формирования референтного пучка.

ным фотоприемником [1]. Характеристики таких устройств в значительной мере определяются абберационными ограничениями. Частично эти вопросы затронуты в работах [3-5]. В [3] рассмотрено влияние сдвига опорного пучка относительно объектного в плоскости голограммы, в [4] — сдвига восстановленного изображения относительно фотоприемника, влияние аббераций на емкость. Однако характер изображений, воспроизводимых ГЗУ при наличии аббераций, изучен недостаточно. Цель данной работы — в какой-то мере восполнить указанный пробел и изложить методику расчета оптической схемы ГЗУ.

Рассмотрим эквивалентную схему ГЗУ с постраничной записью информации (рис. 1), представляющую обобщение конкретных схем, представленных в [1, 5]. Здесь выделены основные части оптической схемы, вносящие абберационные искажения: отображающие системы 2 и 6. Первая проецирует линзовый растр 1 на матрицу голограмм 5, вторая — транспарант с фазовой маской 4 на матрицу фотоприемников 7. Оптическая система 8 формирует узкие референтные пучки, падающие на голограммы 5. Выходной лучок системы 2 (2б) совмещен здесь с транспарантом 3 и маской 4, а входной лучок системы 6 (6а) — с матрицей голограмм 5. В режиме записи голограмм узкий пучок, направленный отклоняющим устройством (единым для объектного и референтного пучка и

здесь не изображенным), освещает одну из линз раstra 1 и фокусируется в плоскости 5, где интерферирует с узким референтным пучком. В режиме считывания объектный пучок перекрывается, и референтный, реконструируя голограмму 5, создает изображение транспаранта 3 на фотоприемниках 7. Случайная фазовая маска 4 введена здесь для создания более равномерного распределения света в плоскости голограммы с целью снизить линейные искажения среды [10]. Особенностью схемы является расположение информационных элементов 3, 4, 5 в зрачках систем 2, 6. Это связано с тем, что при другом расположении 3, 4 (исключая зрачок 2a) уменьшилась бы полезная площадь, освещаемая на транспаранте (при сохранении тех же aberrаций системы 2), что привело бы к снижению емкости.

Вынос матрицы голограмм 5 из зрачка вызывает уменьшение полезной площади голограмм, что также снижает емкость. Заметим, что вынос голограмм ведет к потере целых массивов информации, записанных на крайних голограммах, в то время как для транспаранта та же операция

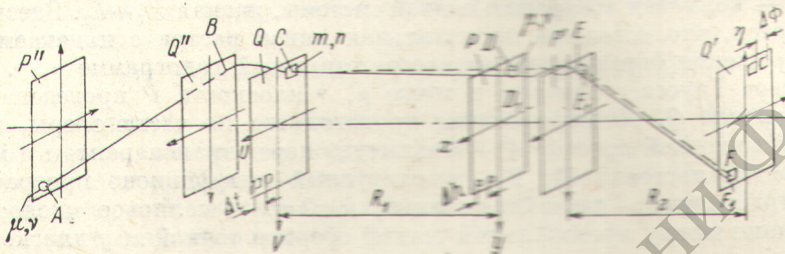


Рис. 2.

P'' — плоскость линзового раstra; Q', Q — плоскости входного и выходного зрачков первой отображающей системы; P, P' — плоскости входного и выходного зрачков второй отображающей системы; Q'' — плоскость матрицы голограмм; R, r, v — номер работающей линзы раstra и записываемой голограммы; m, n — номер ячейки транспаранта и фотоприемника; $\Delta t, \Delta h, \Delta \phi$ — расстояния между ячейками транспаранта, голограммами и фотоприемниками соответственно.

L_1^{mn} — эйконал первой системы для ячейки m, n при отсутствии aberrаций; $L_2^{mn} = [ABCD]$ — реальный эйконал первой системы для ячейки m, n ; $L_3^{mn} = [DEF]$ — эйконал второй системы для фотоприемника m, n при отсутствии aberrаций; $L_4^{mn} = [DEF]$ — реальный эйконал второй системы для фотоприемника m, n ; R_1 — расстояние от выходного зрачка первой системы до матрицы голограмм; R_2 — расстояние от выходного зрачка второй системы до матрицы фотоприемников.

вызывает потерю частей массивов на краях транспаранта. Транспарант можно поместить во входном зрачке, что существенно не влияет на рассмотрение. Действительно, в этом случае в роли второй отображающей системы выступает система из объективов 2 и 6, а в роли первой — объектив 1.

Аналогично при установке матрицы голограмм во входном или выходном зрачке под первой оптической системой подразумевается один первый или оба объектива соответственно. Однако матрицу голограмм 5 нежелательно помещать в зрачке 6b, поскольку из-за внеосевой регистрации голограмм возрастут требования к внеосевой коррекции системы 6. По той же причине нежелательно располагать линзы в объектном пучке непосредственно перед голограммной пластинкой. В приведенной схеме для считывания информации используется мнимое изображение, восстановленное голограммой. Для восстановления действительного изображения в той же схеме можно убрать вторую отображающую систему и реконструировать голограмму пучком, сопряженным референтному. Формирование референтного пучка можно осуществить системой, аналогичной 8. Действительное изображение образуется при этом в плоскости транспаранта 4. Таким образом, на основе приведенной схемы возможен анализ как мнимого, так и действительного изображений.

Далее будет рассмотрено влияние aberrаций трех определяющих частей эквивалентной схемы — первой, второй отображающих систем, а также оптики формирования опорного пучка на характер изображения.

Основные обозначения для расчета даны на рис. 2, где изображены характерные плоскости для первой отображающей системы (предметная — P'' , входного зрачка — Q'' , выходного — Q , изображения — P), для второй (предметная — Q , входного зрачка — P , выходного — P' , изображения — Q') и соответствующие координаты. В подписи к рис. 2 указаны эйконалы тех же двух систем, обозначенные соответствующими индексами. Здесь «волна» обозначает эйконалы реальных систем с аберрациями, а без «волны» — эйконалы при отсутствии аберраций (идеально скорректированные системы).

Опишем процесс записи и реконструкции голограммы. Амплитуду (\bar{a}) информационного пучка, регистрируемого на голограмме, в соответствии с известным дифракционным интегралом [6] можно выразить через амплитуду в выходном зрачке системы 1

$$\bar{a}(x, y) = -\frac{j}{\lambda} A \iint T(U, V) \frac{\exp[jk(\Phi_1 + \rho_1)]}{\rho_1} dS, \quad (1)$$

где Φ_1 — волновая аберрация первой системы, равная $\bar{L}_1 - L_1$. Здесь предполагается, что освещена произвольная линза раstra с индексом μ , ν , и изображение формируется на соответствующей голограмме μ , ν . Опорная сфера Гаусса с центром в точке μ , ν плоскости P проведена через центр зрачка Q . Интегрирование производится по части сферы, закрывающей выходной зрачок; A — амплитуда перед транспарантом и маской (полагается постоянной); T — амплитудный коэффициент прозрачности пары транспарант—случайная маска; $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число; ρ_1 — расстояние между произвольной точкой сферы и точкой x, y плоскости P , равное

$$\rho_1 = R_1 - \frac{xU + yV}{R_1}. \quad (2)$$

Полагая, что запись информации двоичная, а информационные ячейки одинаковой формы и размера, запишем T в виде

$$T(U, V) = \sum_{m, n} T_o(\bar{U}, \bar{V}) \Pi_{mn} \exp(jk\varphi_{mn}), \quad (3)$$

где \bar{U}, \bar{V} — местные координаты, отсчитываемые от центра ячейки транспаранта с индексом (m, n) .

$$\bar{U} = U - m\Delta_r, \quad \bar{V} = V - n\Delta_r. \quad (4)$$

Расстояние между ячейками полагается одинаковым по U и V ; Ω_{mn} — двоичная функция, равная 0 или 1 и определяющая записанную на транспаранте информацию; $T_o(\bar{U}, \bar{V})$ — распределение амплитудной прозрачности ячейки; $k\varphi_{mn}$ — фаза, вносимая случайной маской, в соответствии с [2] постоянная в пределах ячейки и принимающая (по случайному закону) значения 0 или π .

Функцию аберраций разложим в ряд в окрестностях центров ячеек транспаранта и ограничимся членами первого порядка малости. Такая аппроксимация, как правило, допустима в связи с малым размером ячейки по сравнению с размером транспаранта (обычно $|m, n| \lesssim 100$) и достаточно плавным характером изменения величины волновой аберрации по полю объектива, позволяющим считать функцию аберраций линейной по полю ячейки транспаранта,

$$\Phi_1(\bar{U}, \bar{V}) = \Phi_1^{mn} + \frac{\partial \Phi_1}{\partial \bar{U}} \bar{U} + \frac{\partial \Phi_1}{\partial \bar{V}} \bar{V} + \dots, \quad (5)$$

где Φ_1^{mn} — значение волновой аберрации в центре ячейки, а производные определяют составляющие (по осям U, V) лучевых аберраций для центра ячейки [6].

$$\delta x_1^{mn} = -\frac{\partial \Phi_1}{\partial \bar{U}} R_1; \quad \delta y_1^{mn} = -\frac{\partial \Phi_1}{\partial \bar{V}} R_1. \quad (6)$$

Подставляя (2)—(6) в (1) и интегрируя, получим

$$\bar{a}(\tilde{x}, \tilde{y}) = \sum_{mn} A_{mn}(\tilde{x}, \tilde{y}), \quad (7)$$

где

$$A_{mn}(\tilde{x}, \tilde{y}) = \Pi_{mn} t_{mn}(\tilde{x} + \delta x_{1^{mn}}, \tilde{y} + \delta y_{1^{mn}}) \exp(jk\varphi_{mn}), \quad (8)$$

значком «~» помечены локальные координаты голограмм

$$\tilde{x} = x - \mu\Delta_h, \quad \tilde{y} = y - \nu\Delta_h. \quad (9)$$

φ_{mn} — случайный фазовый сдвиг, равный

$$\varphi_{mn} = \varphi_{mn} + L_1. \quad (10)$$

а $t(\tilde{x}, \tilde{y})$ — Фурье-образ ячейки $T_0(\tilde{U}, \tilde{V})$, определяемый как

$$t_{mn}(\tilde{x}, \tilde{y}) = \frac{A}{j\lambda R_1} \iint T_0(\tilde{U}, \tilde{V}) \exp\left(-jk \frac{\tilde{x}\tilde{U} + \tilde{y}\tilde{V}}{R_1}\right) d\tilde{U} d\tilde{V}. \quad (11)$$

Пусть амплитуда референтного пучка r , используемого при регистрации голограммы, равна

$$r(\tilde{x}, \tilde{y}) = A_r(\tilde{x} + \delta x_r^{\mu, \nu}, \tilde{y} + \delta y_r^{\mu, \nu}) \exp[jkL_r(\tilde{x}, \tilde{y})], \quad (12)$$

где A_r — амплитуда, L_r — эйконал с учетом aberrаций формирующей системы 8 (рис. 1) и наклона опорного пучка к объективному; $\delta x_r^{\mu, \nu}, \delta y_r^{\mu, \nu}$ — поперечные aberrации референтного пучка, сдвигающие его с центра голограммы μ, ν . Интенсивность интерференционного поля (J), регистрируемого на голограмме, равна

$$J = |\bar{a} + r|^2 = |\bar{a}|^2 + |r|^2 + \bar{a}r^* + \bar{a}^*r. \quad (13)$$

В приближении линейной регистрации комплексная амплитуда волны, восстановленная непосредственно за голограммой, пропорциональна J . Компонента амплитуды \bar{a} , описывающая амплитуду, ответственную за формирование изображения на фотоприемниках (мнимое изображение голограммы), описывается третьим слагаемым (13). При реконструкции голограммы той же референтной волной из (13), (12), (7) находим

$$\bar{a}(\tilde{x}, \tilde{y}) = K_h \bar{a}(\tilde{x}, \tilde{y}) J_r(\tilde{x} + \delta x_r^{\mu, \nu}, \tilde{y} + \delta y_r^{\mu, \nu}), \quad (14)$$

где

$$J_r(\tilde{x}, \tilde{y}) = A_r^2(\tilde{x}, \tilde{y}), \quad (14a)$$

а K_h — коэффициент пропорциональности.

В соответствии с (14), (7), (8), (11) поля объектного пучка и пучка, восстановленного из голограммы, описываются суперпозициями полей, созданных дифракцией излучения на отдельных ячейках. Влияние aberrаций на объектный пучок при этом проявляется в смещении указанных пучков на величину лучевых aberrаций, а также изменения их фаз на величину волновых aberrаций Φ_{mn} . Таким образом, дифракционные и aberrационные эффекты здесь разделены. Влияние aberrаций на восстановленный пучок проявляется в модуляции его амплитуды в соответствии с распределением интенсивности опорного пучка. Восстановленные из голограммы парциальные пучки, образующие в дальнейшем изображение ячеек на фотоприемных, согласно (14), (7), распространяются по тем же направлениям, что и до голограммы. Aberrации опорного пучка по (14) компенсируются.

При переносе изображения из входного зрачка системы 6 в выходной — форма сигнала a , при наличии aberrаций в зрачках, изменяется

$$a(\tilde{x}, \tilde{y}) = K_h \sum_{mn} A_{mn}(\tilde{x} + \delta x_{ap}^{m, n}, \tilde{y} + \delta y_{ap}^{m, n}) \exp(jk\Phi_{ap}^{m, n}), \quad (15)$$

где $\delta x_{ap}^{m, n}, \delta y_{ap}^{m, n}$ — значение поперечных aberrаций в зрачках второй отображающей системы для центра ячейки m, n .

В соответствии с дифракционным интегралом, аналогичным (1), по амплитуде в выходном зрачке (15) найдем амплитуду поля на фотоприемнике

$$a(\tilde{\eta}, \tilde{\xi}) = -\frac{jK_n A}{\lambda} \iint \sum A_{mn}(\tilde{x} + \delta x_{\text{зр.}}^{m,n}, \tilde{y} + \delta y_{\text{зр.}}^{m,n}) \frac{\exp[jk(\Phi_2 + \rho_2)]}{\rho_2} dS, \quad (16)$$

где $\tilde{\eta}, \tilde{\xi}$ — локальные координаты в плоскости фотоприемников $\tilde{\eta} = \eta - m\Delta\Phi$, $\tilde{\xi} = \xi - n\Delta\Phi$, а $\rho_2 = R_2 - [(x\eta - y\xi)/R_2]$, Φ_2 — волновая aberrация второй системы.

Учитывая, что размеры голограмм малы по сравнению с размером матрицы голограмм, искажения волнового фронта, обусловленные волновыми aberrациями и aberrациями в зрачках, могут быть разложены в ряд и аппроксимированы первыми членами этого ряда аналогично (5) и (6).

Подставляя (7), (8), (10), (14), (15) в (16) и преобразуя волновые aberrации в лучевые, получим

$$a(\tilde{\eta}, \tilde{\xi}) = -j \frac{K_h A}{\lambda} \sum_{mn} \Pi_{mn} \exp(jk\psi_{mn}) B_{mn}(\tilde{\eta} + \delta\eta; \tilde{\xi} + \delta\xi), \quad (17)$$

где ψ_{mn} — набег фазы луча, идущего в объектном пучке системы от линзового раstra до m, n фотоприемника, равный

$$\psi_{mn} = \varphi_{mn} + L_1^{mn} + L_2^{mn}, \quad (18)$$

B_{mn} — функция, определяющая распределение амплитуды в восстановленном изображении ячейки m, n . По аналогии с принятой в оптике функцией рассеяния, введенной для определения качества системы по точечному источнику [6], B_{mn} может быть названа амплитудной функцией рассеяния ячейки (ФРЯ). Для мнимого изображения $B_{mn}(\tilde{\eta}, \tilde{\xi})$ описывается Фурье-преобразованием от амплитуды парциального пучка m, n за голограммой

$$B(\tilde{\eta}, \tilde{\xi}) = \iint t(\tilde{x} + \delta x_r^{m,n}, \tilde{y} + \delta y_r^{m,n}) J(\tilde{x} + \delta x_r^{m,n}, \tilde{y} + \delta y_r^{m,n}) \times \\ \times \exp\left\{-jk \frac{\tilde{x}\tilde{\eta} + \tilde{y}\tilde{\xi}}{R}\right\} d\tilde{x}d\tilde{y}. \quad (19)$$

Аналогичным образом можно рассмотреть восстановление действительного изображения. Покажем, что в этом случае также можно ввести ФРЯ.

Положим, что восстановление голограммы (13) осуществляется с помощью оптической системы 8 (рис. 1), повернутой на 180° в плоскости, образованной оптическими осями объектного и опорного пучков. В этом случае комплексная амплитуда восстанавливающего пучка примет вид [ср. с (12)]

$$r' = A_r(\tilde{x} + \delta x_r^{m,n}, -\tilde{y} - \delta y_r^{m,n}) \exp[jkL'_2(\tilde{x}, \tilde{y})], \quad (20)$$

где, как и в (12), присутствуют aberrационные искажения, проявляющиеся в смещениях пучков $\delta x_r, \delta y_r$, а также в эйконале L'_2 .

Практический интерес представляет восстановление различных голограмм параллельными (с точностью до aberrаций) пучками, для которых поворот системы 8 в действительности возможен.

В соответствии с последним слагаемым (13) комплексная амплитуда волны a' , восстановленной непосредственно за голограммой и формирующей действительное изображение, равна

$$a' = K_h a^*(\tilde{x}, \tilde{y}) A_r(\tilde{x} + \delta x_r^{m,n}, \tilde{y} + \delta y_r^{m,n}) A_2(\tilde{x} + \delta x_r^{m,n}, -\tilde{y} - \delta y_r^{m,n}) \times \\ \times \exp(jk\Phi'_r(\tilde{x}, \tilde{y})), \quad (21)$$

где

$$\Phi'_r(\tilde{x}, \tilde{y}) = L_r(\tilde{x}, \tilde{y}) - L'_r(\tilde{x}, \tilde{y}). \quad (22)$$

Осуществляя обратное преобразование Фурье (1) и разлагая эйконалы в (22), аналогично (5), (6) получим выражение для сигнала в плоскости транспаранта

$$a(\tilde{U}, \tilde{V}) = -\frac{jK_n A}{\lambda} \sum_{mn} \Pi_{mn} B'(\tilde{U} + \delta U_r^{\mu, \nu}, \tilde{V} + \delta V_r^{\mu, \nu}), \quad (23)$$

$$\delta U_r = \Delta \alpha_r(\mu, \nu) - \Delta \alpha_r(\mu, -\nu), \quad (24)$$

$$\delta V_r = \Delta \beta_r(\mu, \nu) - \Delta \beta_r(\mu, -\nu), \quad (25)$$

где B' — ФРЯ для действительного изображения вида

$$B'(\tilde{U}, \tilde{V}) = \iint \exp\left\{jk \frac{\tilde{x}\tilde{U} + \tilde{y}\tilde{V}}{R_1}\right\} t(\tilde{x}, \tilde{y}) \times \\ \times A_r(\tilde{x} + \delta x_r^{\mu, \nu}, \tilde{y} + \delta y_r^{\mu, \nu}) A_r(\tilde{x} + \delta x_r^{\mu, \nu}, -\tilde{y} - \delta y_r^{\mu, \nu}). \quad (26)$$

а $\Delta \alpha_r(\mu, \nu)$, $\Delta \beta_r(\mu, \nu)$ — составляющие угловых aberrаций опорного пучка по осям x, y для голограммы μ, ν ; $\delta U_r, \delta V_r$ — составляющие поперечных aberrаций m, n информационной ячейки восстановленного изображения.

Распределение амплитуды для действительного и мнимого изображений (23), (17) отличаются видом ФРЯ, а также величинами aberrационных смещений ячеек. Для действительного изображения эти смещения определяются aberrациями системы формирования опорного пучка, не зависят от aberrаций объектной системы и одинаковы для всех ячеек входного транспаранта.

Восстановленное изображение, как и исходное, представляет неискаженную прямоугольную матрицу. Величина смещений варьируется от номера восстанавливаемой голограммы. Эти aberrации компенсируются, если они антисимметричны относительно оси x (рис. 2), что соответствует восстановлению голограмм идеально сопряженными пучками. Как правило, это условие не выполняется из-за сферической aberrации формирующей оптики. Симметрия сферической aberrации приводит к тому, что угловые aberrации восстановленного изображения, согласно (24), (25), равны удвоенным aberrациям опорного пучка.

Для мнимого изображения aberrационные смещения ячеек восстановленного изображения по (17) равны aberrациям второй отображающей системы. В отличие от действительного изображения мнимое уже не является прямоугольной матрицей. Это связано с тем, что указанная система работает в широком поле зрения и ей присущи все виды aberrационных искажений, характеризующие осесимметричные системы.

В рассмотренном нами приближении малых aberrаций характер изображений определяется геометрическим ходом лучей, идущих к соответствующим ячейкам. Рассмотрим влияние aberrаций на ФРЯ. Как отмечалось, эта функция определяет размер и форму восстановленных изображений ячеек.

Для мнимого изображения ФРЯ определяется вектором относительных aberrаций δ_1 первой отображающей системы и опорного пучка

$$\delta_1 = [(\delta x_1^{\mu, \nu} - \delta x_r^{\mu, \nu}), (\delta y_1^{\mu, \nu} - \delta y_r^{\mu, \nu})], \quad (27)$$

где в квадратных скобках указаны ранее введенные составляющие по осям. Действительно, используя теоремы о свертке и о свяге Фурье-образа [7], получим из (19)

$$B(\eta, \zeta) = \exp\left\{-j \frac{k}{R} (\tilde{y}\delta x_r + \tilde{x}\delta y_r)\right\} \iint T_0(x, y) J(\tilde{y} - \tilde{x}, \\ \tilde{\zeta} - \tilde{y}) \exp\left\{-j \frac{k}{R} [(\delta x_1 - \delta x_r)\tilde{y} + (\delta y_1 - \delta y_r)\tilde{\zeta}]\right\} dx dy. \quad (28)$$

В то же время для действительного изображения зависимость ФРЯ (26) от aberrаций в общем случае сложнее. Из (26) видно, что ФРЯ зависит только от вектора разностных aberrаций (27), если координаты опорного и восстанавливающего пучков совпадают и распределение амплитуды в опорных пучках симметрично относительно y , т. е. при

$$\delta y_r^{\mu, \nu} = -\delta y_r^{\mu, -\nu}, \quad (29)$$

$$A_r(\tilde{x}, \tilde{y}) = A_r(\tilde{x}, -\tilde{y}). \quad (30)$$

Используя (7), (31), (32), получим из (14) амплитуду восстановленного с голограммы сигнала непосредственно за ней

$$\bar{a}(\bar{x}) = K_1 \sum_{mn} \exp \left\{ -\frac{4}{l_h^2} \left[x^2 + 2 \frac{x(\varepsilon^2 \delta x_r^{mn} + \delta x_r)}{\varepsilon^2 + 2} + \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2 + 2} (\delta x_r^{mn})^2 + \frac{2(\delta x_r^{mn})^2}{(\varepsilon^2 + 2)} \right] \right\}, \quad (33)$$

где

$$K_1 = K_h B B_r^2, \quad \varepsilon = \gamma_r / \gamma, \quad l_h = \gamma \varepsilon / \sqrt{\varepsilon^2 + 2}.$$

Из (33) видно, что характерный размер голограммы не зависит от величин aberrаций. Аналогично, подставляя (31), (32) в (17), (19), получим амплитуду сигнала в плоскости фотоприемников

$$a(\gamma) = K_2 \sum_{mn} \Pi_{mn} \exp \left\{ -\frac{\pi \gamma^2 \varepsilon^2 (\gamma + \delta \gamma)^2}{4 \lambda^2 R^2 (\varepsilon^2 + 2)} \right\} \exp \left\{ -\frac{8 \varepsilon^2 (\delta \gamma^{mn})^2}{\gamma^2 \varepsilon^2 (\varepsilon^2 + 2)} \right\}. \quad (34)$$

Отсюда видно, что наличие вектора относительных aberrаций не ухудшает изображения ячейки на фотоприемнике m, n , а ослабляет его по амплитуде. Увеличение размера опорного пучка дает возможность передачи на фотоприемник неискаженного (не считая aberrаций второй отображающей системы) сигнала (рис. 3, e). Действительно, увеличение ε в формуле (34) приводит к неограниченному уменьшению влияния $\delta \gamma$ на вид восстановленного сигнала. Однако при этом уменьшается количество голограмм и, как следствие снижается емкость [9].

Наряду с влиянием aberrаций первой и опорной систем на уровень сигнала, проецируемого на фотоприемник, влияют и aberrации второй отображающей системы. На рис. 3 видно, что сигнал на узком фотоприемнике спадает при увеличении aberrационного сдвига изображения и пропорционален уменьшению ФРЯ.

Полученные в данной работе результаты в дальнейшем предполагается использовать при оптимизации параметров ГЗУ.

Литература

- [1] В. Hill. Appl. Opt., № 11, 1972.
- [2] С. В. Вурхардт. Appl. Opt., № 9, 965, 1970.
- [3] Н. А. Костров. Квантовая электроника, 1, 2148, 1974.
- [4] И. С. Гибин. Автометрия, № 6, 102, 1974.
- [5] Е. С. Богданова, С. И. Соскин. Автометрия, № 3, 42, 1975.
- [6] М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики, 498. «Наука», М., 1970.
- [7] Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. Оптическая голография, гл. 4. «Мир», М., 1973.

Поступило в Редакцию 13 апреля 1977 г.