

В.Г. Гусев

Формирование в диффузно рассеянных полях интерференционных картин при двухэкспозиционной записи с помощью микроскопа квази-Фурье- и Фурье-голограмм

Томский государственный университет

Поступила в редакцию 6.05.2007 г.

Анализируется чувствительность интерферометра к поперечному или продольному перемещению диффузно рассеивающей свет плоской поверхности. Показано, что интерференционные картины локализуются в плоскости голограмм и в дальней зоне дифракции. Для их регистрации необходимо проведение пространственной фильтрации дифракционного поля. Экспериментальные результаты соответствуют теоретическим предположкам.

В [1] показано, что при контроле поперечного перемещения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности, когда проводится двухэкспозиционная запись голограммы сфокусированного с помощью зрительной трубы Кеплера изображения рассеивателя, однородное смещение субъективных спеклов, соответствующих второй экспозиции, и изменение их угла наклона обуславливают локализацию интерференционных картин в двух плоскостях: в плоскости голограмм и в Фурье-плоскости. Выполнение пространственной фильтрации дифракционного поля в соответствующих плоскостях позволяет определить чувствительность интерферометра. При этом для интерференционной картины, локализуемой в плоскости голограмм, где формируется изображение рассеивателя, она зависит от увеличения двухэкспозиционной оптической системы и радиуса кривизны сферического волнового фронта когерентного излучения, используемого для освещения рассеивателя на стадии записи голограммы. В свою очередь для интерференционной картины, локализуемой в Фурье-плоскости, чувствительность интерферометра зависит от фокусного расстояния объектива зрительной трубы, когда коэффициент масштабного преобразования изображения рассеивателя меньше единицы. Кроме того, регистрация интерференционных картин в плоскостях их локализации сопровождается явлением параллакса интерференционных полос.

В случае контроля продольного перемещения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности из-за уширения в плоскости голограмм субъективных спеклов, соответствующих второй экспозиции, и изменяющегося по радиусу от оптической оси их угла наклона также обеспечивается локализация интерференционных картин в вышеуказанных двух плоскостях. При этом чувствительность интерферометра для интерференционной картины, локализуемой в плоскости голограмм, зависит от увеличе-

ния двухкомпонентной оптической системы и радиуса кривизны сферического волнового фронта когерентного излучения, используемого для освещения рассеивателя на стадии записи голограммы. В свою очередь для информационной картины, локализуемой в Фурье-плоскости, чувствительность интерферометра зависит от фокусного расстояния объектива зрительной трубы, когда коэффициент масштабного преобразования изображения рассеивателя меньше единицы. Кроме того, регистрация интерференционных картин, характеризующих продольное перемещение рассеивателя в плоскости их локализации, при выполнении пространственной фильтрации дифракционного поля не сопровождается параллаксом интерференционных полос.

В настоящей статье анализируются особенности образования интерференционных картин, характеризующих поперечное или продольное перемещение диффузно рассеивающей свет плоской поверхности, при двухэкспозиционной записи с помощью микроскопа коллимационного типа квази-Фурье- и Фурье-голограмм с целью определения чувствительности интерферометра.

Как представлено на рис. 1, матовый экран 1, находящийся в плоскости (x_1, y_1) , освещается когерентным излучением с расходящейся сферической волной радиусом кривизны R . Диффузно рассеянное им излучение, прошедшее оптическую систему микроскопа (положительная тонкая линза L_1 — объектив, положительная тонкая линза L_2 — окуляр), регистрируется за время первой экспозиции на фотопластинке 2, находящейся в плоскости (x_4, y_4) , с использованием внеосевой плоской опорной волны, составляющей угол θ с нормалью к плоскости фотопластинки. Перед проведением записи второй экспозиции матовый экран смещается в своей плоскости, например в направлении оси x на величину a .

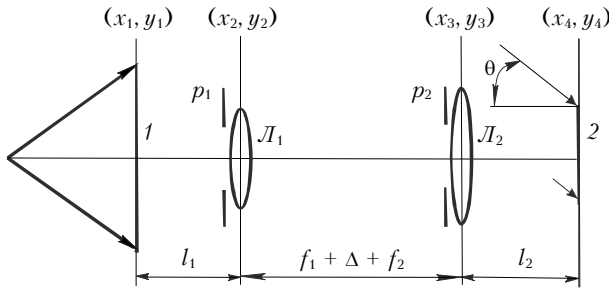


Рис. 1. Схема двухэкспозиционной записи голограммы: 1 – матовый экран; 2 – фотопластинка; L_1, L_2 – положительные линзы; p_1, p_2 – апертурные диафрагмы

В приближении Френеля с учетом дифракционной ограниченности распределение комплексной амплитуды поля, соответствующее первой экспозиции, в предметном канале в плоскости фотопластинки принимает вид

$$\begin{aligned}
 u_1(x_4, y_4) \sim & \iiint_{-\infty}^{\infty} \iint_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) \exp\left[\frac{ik}{2R}(x_1^2 + y_1^2)\right] \times \\
 & \times \exp\left\{\frac{ik}{2l_1}[(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]\right\} p_1(x_2, y_2) \times \\
 & \times \exp\left[-\frac{ik}{2f_1}(x_2^2 + y_2^2)\right] \exp\left\{\frac{ik}{2(f_1 + \Delta + f_2)}[(x_2 - x_3)^2 + \right. \\
 & \left. + (y_2 - y_3)^2]\right\} p_2(x_3, y_3) \exp\left[-\frac{ik}{2f_2}(x_3^2 + y_3^2)\right] \times \\
 & \times \exp\left\{\frac{ik}{2l_2}[(x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2]\right\} dx_1 dy_1 dx_2 dy_2 dx_3 dy_3,
 \end{aligned} \quad (1)$$

где k – волновое число; $t(x_1, y_1)$ – комплексная амплитуда пропускания матового экрана, являющаяся случайной функцией координат; $p_1(x_2, y_2)$ – функция зрачка [2] линзы L_1 с фокусным расстоянием f_1 ; $p_2(x_3, y_3)$ – функция зрачка линзы L_2 с фокусным расстоянием f_2 ; Δ – длина тубуса микроскопа; l_1 – расстояние от главной плоскости (x_2, y_2) линзы L_1 до матового экрана; l_2 – расстояние от главной плоскости (x_3, y_3) линзы L_2 до фотопластинки.

С учетом условия построения изображения матового экрана в передней фокальной плоскости линзы L_2 , т.е. $(1/f_1) = 1/l_1 + 1/(f_1 + \Delta)$, и условия $(1/f_2) = 1/l_2 + 1/(f_2 + \Delta)$ [3] выражение (1) принимает следующую форму:

$$\begin{aligned}
 u_1(x_4, y_4) \sim & \exp\left[\frac{ik\Delta}{2f_2(f_2 + \Delta)}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \\
 & \times \left\{ \exp\left[\frac{ik(f_1 + \Delta + f_2)\Delta}{2ff_2(f_2 + \Delta)}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \right. \\
 & \times \left. \left\{ \exp\left[-\frac{ikf_1(f_1 + \Delta)}{2f^2\Delta}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \right. \right. \\
 & \times \left. \left. F^{-1}(x_4, y_4) \otimes P_1(x_4, y_4) \right\} \otimes P_2(x_4, y_4) \right\}, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где \otimes – символ операции свертки; $f = f_1 f_2 / \Delta$ – фокусное расстояние микроскопа; $P_1(x_4, y_4)$ – Фурье-образ функции $p_1(x_2, y_2)$ (учитывая ее четность) с пространственными частотами $x_4/\lambda f$, $y_4/\lambda f$ (λ – длина волны когерентного источника света, используемого на стадиях записи и восстановления голограммы); $P_2(x_4, y_4)$ – Фурье-образ функции $p_2(x_3, y_3)$ с пространственными частотами

$$x_4\Delta/\lambda f_2(f_2 + \Delta), \quad y_4\Delta/\lambda f_2(f_2 + \Delta);$$

$$\begin{aligned}
 F^{-1}(x_4, y_4) = & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) \exp\left[ik(x_1^2 + y_1^2)/2R\right] \times \\
 & \times \exp\left[ik(x_1 x_4 + y_1 y_4)/f\right] dx_1 dy_1 = \\
 = & F(x_4, y_4) \otimes \exp\left[-ikR(x_4^2 + y_4^2)/2f^2\right],
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F(x_4, y_4) = & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} t(-x_1, -y_1) \times \\
 & \times \exp\left[-ik(x_1 x_4 + y_1 y_4)/f\right] dx_1 dy_1.
 \end{aligned}$$

Как и в [3], положим, что ширина функции $P_1(x_4, y_4)$ порядка $\lambda f/d_1$ [4], где d_1 – диаметр зрачка линзы L_1 , и в пределах области ее существования изменение фазы сферической волны радиусом кривизны $f^2\Delta/f_1(f_1 + \Delta)$ не превосходит π . Тогда для области в плоскости фотопластинки диаметра $D_1 \leq d_1\Delta/f_1(f_1 + \Delta)$ квадратичный фазовый множитель $\exp\left[-ikf_1(f_1 + \Delta)(x_4^2 + y_4^2)/2f^2\Delta\right]$ вынесем в (2) из-под знака интеграла свертки с функцией $P_1(x_4, y_4)$ и получим

$$\begin{aligned}
 u_1(x_4, y_4) \sim & \exp\left[\frac{ik\Delta}{2f_2(f_2 + \Delta)}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \\
 & \times \left\{ \exp\left[-\frac{ik\Delta}{2f_2(f_2 + \Delta)}(x_4^2 + y_4^2)\right] \left\{ F(x_4, y_4) \otimes \right. \right. \\
 & \otimes \exp\left[-\frac{ikR(x_4^2 + y_4^2)}{2f^2}\right] \otimes P_1(x_4, y_4) \left. \right\} \otimes P_2(x_4, y_4) \left. \right\}. \quad (3)
 \end{aligned}$$

Так как ширина функции $P_2(x_4, y_4)$ порядка $\lambda f_2(f_2 + \Delta)/d_2\Delta$, d_2 – диаметр зрачка линзы L_2 , то положим, что в пределах области ее существования изменение фазы сферической волны радиусом кривизны $f_2(f_2 + \Delta)/\Delta$ не превосходит π . Тогда для области фотопластинки диаметра $D_2 \leq d_2$ квадратичный фазовый множитель $\exp\left[-ik\Delta(x_4^2 + y_4^2)/2f_2(f_2 + \Delta)\right]$ вынесем в (3) из-под знака интеграла свертки с функцией $P_2(x_4, y_4)$ и получим

$$\begin{aligned}
 u_1(x_4, y_4) \sim & F(x_4, y_4) \otimes \exp\left[-\frac{ikR(x_4^2 + y_4^2)}{2f^2}\right] \otimes \\
 & \otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4). \quad (4)
 \end{aligned}$$

Из (4) следует, что в случае $d_1 f_2 / (f_1 + \Delta) \leq d_2$ в плоскости фотопластинки в пределах диаметра D_1 , соответствующего диаметру выходного зрачка микроскопа, формируется квази-Фурье-образ функции $t(-x_1, -y_1)$, когда $R \neq \infty$. При этом каждая точка в указанной области уширена до размера субъективного спекла, определяемого шириной функции $P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4)$.

Распределение комплексной амплитуды поля, соответствующее второй экспозиции, в предметном канале в плоскости фотопластинки на основании свойств преобразования Фурье определяется выражением

$$u_2(x_4, y_4) \sim \exp\left[\frac{ik\Delta}{2f_2(f_2 + \Delta)}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{ik\Delta}{2f_2(f_2 + \Delta)}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \left\{ \exp\left(\frac{kax_4}{f}\right) F(x_4, y_4) \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes P_1(x_4, y_4) \right\} \otimes P_2(x_4, y_4) \right\}, \quad (5)$$

которое с учетом известного [5] тождества и свертки функций

$$\exp\left[-ikR(x_4^2 + y_4^2)/2f^2\right] \otimes \exp\left[ikR(x_4^2 + y_4^2)/2f^2\right] = \delta(x_4, y_4),$$

где $\delta(x_4, y_4)$ — дельта-функция Дирака, принимает вид

$$u_2(x_4, y_4) \sim \exp\left[\frac{ik\Delta}{2f_2(f_2 + \Delta)}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{ik\Delta}{2f_2(f_2 + \Delta)}(x_4^2 + y_4^2)\right] \exp\left(\frac{ikax_4}{f}\right) \times \left\{ F(x_4, y_4) \otimes \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) P_1(x_4, y_4) \otimes \exp\left[\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \right\} \otimes P_2(x_4, y_4) \right\}. \quad (6)$$

Так как на основании интегрального представления в (6) операции свертки следует доказательство выполнения следующего тождества:

$$\exp\left[\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) \times \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) P_1(x_4, y_4) = \exp\left(-\frac{ika^2}{2R}\right) \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) P_1\left(x_4 + \frac{f}{R}a, y_4\right),$$

то распределение комплексной амплитуды поля, соответствующее второй экспозиции, в предметном канале в плоскости фотопластинки в пределах вышеуказанной ее области определяется выражением

$$u_2(x_4, y_4) \sim \exp\left(\frac{ikax_4}{f}\right) \left\{ F(x_4, y_4) \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes \exp\left(-\frac{ik}{2R}a^2\right) \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) P_1\left(x_4 + \frac{f}{R}a, y_4\right) \otimes \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) P_2(x_4, y_4) \right\}. \quad (7)$$

Согласно (7) поперечное смещение диффузно рассеивающей свет плоской поверхности сопровождается изменением угла наклона субъективного спекл-поля, соответствующего второй экспозиции, на величину a/f по отношению к спекл-полю первой экспозиции. Кроме того, имеет место однородное смещение составляющей субъективного спекла, обусловленной дифракцией плоской волны на зрачке объектива микроскопа, на величину af/R . При этом величина смещения зависит от фокусного расстояния микроскопа и радиуса кривизны сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения рассеивателя на стадии записи голограммы, а направление смещения зависит от знака радиуса кривизны.

При условии выполнения двухэкспозиционной записи квази-Фурье-голограммы на линейном участке кривой почернения фотоматериала распределение комплексной амплитуды ее пропускания, соответствующее (-1) -му порядку дифракции, принимает вид

$$\tau(x_4, y_4) \sim \exp(-ikx_4 \sin\theta) \left\{ F(x_4, y_4) \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4) + \exp\left(-\frac{ik}{2R}a^2\right) \exp\left(\frac{ikax_4}{f}\right) \left\{ F(x_4, y_4) \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) \times P_1\left(x_4 + \frac{f}{R}a, y_4\right) \exp\left(-\frac{ikax_4}{f}\right) P_2(x_4, y_4) \right\} \right\}. \quad (8)$$

Пусть на стадии восстановления голограммы в ее плоскости на оптической оси проводится пространственная фильтрация дифракционного поля с помощью круглого отверстия в непрозрачном экране p_0 (рис. 2).

При этом в пределах его диаметра изменение фазы kax_4/f не превосходит π . Тогда распределение комплексной амплитуды поля на выходе пространственного фильтра определяется выражением

$$\begin{aligned}
u(x_4, y_4) \sim p_0(x_4, y_4) & \left\{ F(x_4, y_4) \otimes \exp \left[-\frac{ikR}{2f^2} (x_4^2 + y_4^2) \right] \otimes \right. \\
& \otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4) + \exp \left(-\frac{ik}{2R} a^2 \right) \times \\
& \times F(x_4, y_4) \otimes \exp \left[-\frac{ikR}{2f^2} (x_4^2 + y_4^2) \right] \otimes \exp \left(-\frac{ikax_4}{f} \right) \times \\
& \left. \times P_1 \left(x_4 + \frac{f}{R} a, y_4 \right) \otimes \exp \left(-\frac{ikax_4}{f} \right) P_2(x_4, y_4) \right\}, \quad (9)
\end{aligned}$$

где $p_0(x_4, y_4)$ – функция пропускания пространственного фильтра [6].

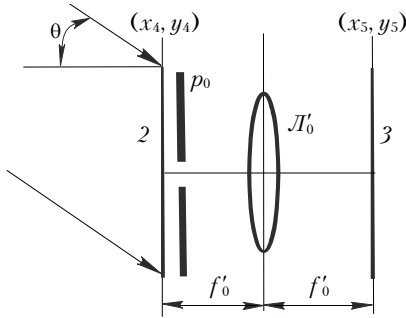


Рис. 2. Схема регистрации интерференционной картины, локализуемой в плоскости формирования изображения рассеивателя: 2 – голограмма; 3 – плоскость регистрации интерферограммы; L_0 – положительная линза; p_0 – пространственный фильтр

Положим, что для линзы L_0 (рис. 2) фокусное расстояние равно f'_0 . Тогда на основании [7] распределение комплексной амплитуды поля в ее задней фокальной плоскости (x_5, y_5) принимает вид

$$\begin{aligned}
u(x_5, y_5) \sim & \left\{ \left[p_1 \left(\frac{f}{f'_0} x_5, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right] \right] + \right. \\
& + \exp \left(\frac{ika^2}{2R} \right) \exp \left(\frac{ikf}{Rf'_0} ax_5 \right) p_1 \left(\frac{f}{f'_0} x_5 + a, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \times \\
& \left. \times p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5 + \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f \Delta} a, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right] \right\} \times \\
& \times t \left(\frac{f}{f'_0} x_5, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \exp \left[\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2} (x_5^2 + y_5^2) \right] \otimes P_0(x_5, y_5), \quad (10)
\end{aligned}$$

где $P_0(x_5, y_5)$ – Фурье-образ функции $p_0(x_4, y_4)$ с пространственными частотами $x_5/\lambda f'_0$, $y_5/\lambda f'_0$.

Если в пределах перекрытия функций

$$\begin{aligned}
p_1(fx_5/f'_0, fy_5/f'_0) p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right], \\
p_1 \left(fx_5/f'_0 + a, fy_5/f'_0 \right) p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5 + \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f \Delta} a, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right]
\end{aligned}$$

период изменения функции $1 + \exp(ika_2/2R) \times \exp(ikfax_5/Rf'_0)$ хотя бы на порядок [8] превос-

ходит ширину функции $P_0(x_5, y_5)$, определяющей размер субъективного спекла в плоскости регистрации интерферограммы 3 (см. рис. 2), то вынесем ее в (10) из-под знака интеграла свертки. Тогда с учетом малости величин a , $f_2(f_2 + \Delta)a/f\Delta$ распределение освещенности в плоскости (x_5, y_5) определяется выражением

$$\begin{aligned}
I(x_5, y_5) \sim & \left[1 + \cos \left(\frac{ka^2}{2R} + \frac{kfax_5}{Rf'_0} \right) \right] \left| p_1 \left(\frac{f}{f'_0} x_5, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \right|^2 \times \\
& \times p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right] \left| t \left(\frac{f}{f'_0} x_5, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \right|^2 \times \\
& \times \exp \left[\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2} (x_5^2 + y_5^2) \right] \otimes P_0(x_5, y_5)^2. \quad (11)
\end{aligned}$$

Из (11) следует, что в случае дифракционной ограниченности поля, когда диаметр D_0 освещенной области матового экрана (см. рис. 1) удовлетворяет условию $D_0 \geq d_1$, в плоскости формирования (Фурье-плоскости) изображения рассеивателя, ограниченного углом поля зрения микроскопа, субъективная спекл-структура промодулирована интерференционными полосами, которые периодически изменяются на оси x . При этом период интерференционных полос $\Delta x_5 = \lambda Rf'_0/af$ не зависит от знака радиуса кривизны фронта сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности на стадии двухэкспозиционной записи квази-Фурье-голограммы. Кроме того, для фиксированных величин λ , a , f , f'_0 с уменьшением величины R увеличивается частота интерференционных полос.

Это увеличение чувствительности интерферометра к поперечному перемещению рассеивателя объясняется увеличением смещения в плоскости голограммы составляющей субъективного спекла, соответствующего второй экспозиции, которая обусловлена дифракцией плоской волны на зрачке объектива микроскопа. В свою очередь, когда $R = \infty$ и в плоскости фотопластинки 2 (см. рис. 1) формируется распределение комплексной амплитуды поля, соответствующее Фурье-образу функции $t(-x_1, -y_1)$, отсутствует образование интерференционной картины в Фурье-плоскости на стадии восстановления голограммы Фурье, в которой образуется «замороженная» интерференционная картина и не требуется выполнение пространственной фильтрации дифракционного поля при ее регистрации.

Пусть на стадии восстановления двухэкспозиционной квази-Фурье-голограммы пространственная фильтрация дифракционного поля выполняется на оптической оси в плоскости (x_5, y_5) (рис. 3) формирования изображения рассеивателя.

В этом случае на основании интегрального представления операции свертки распределение комплексной амплитуды поля в (-1) -м порядке дифракции на выходе голограммы запишем в виде

$$u(x_4, y_4) \sim \exp \left[-\frac{ikR}{2f^2} (x_4^2 + y_4^2) \right] \left\{ \exp \left[\frac{ikR}{2f^2} (x_4^2 + y_4^2) \right] \otimes \right.$$

$$\begin{aligned}
& \otimes t\left(-\frac{R}{f}x_4, -\frac{R}{f}y_4\right) \otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4) + \\
& + \exp\left(\frac{ik}{2R}a^2\right) \exp\left(\frac{ikax_4}{f}\right) \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \\
& \times \left\{ \exp\left[\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes t\left(-\frac{R}{f}x_4, -\frac{R}{f}y_4\right) \right\} \otimes \\
& \otimes P_1\left(x_4 + \frac{f}{R}a, y_4\right) \otimes P_2(x_4, y_4). \quad (12)
\end{aligned}$$

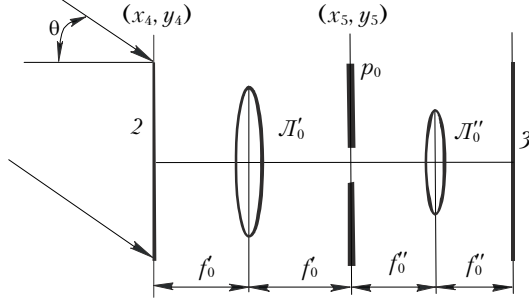


Рис. 3. Схема регистрации интерференционной картины, локализуемой в плоскости голограммы: 2 – голограмма; 3 – плоскость регистрации интерферограммы; L'_0 , L''_0 – положительные линзы; p_0 – пространственный фильтр

Тогда без учета пространственной ограниченности поля распределение его комплексной амплитуды в плоскости (x_5, y_5) (см. рис. 3) определяется выражением

$$\begin{aligned}
u(x_5, y_5) \sim & p_1\left(\frac{f}{f'_0}x_5, \frac{f}{f'_0}y_5\right) p_2\left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta}x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta}y_5\right] \times \\
& \times \left\{ \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \otimes F_1(x_5, y_5) \exp\left[-\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \right\} + \\
& + \exp\left(\frac{ika^2}{2R}\right) \exp\left(\frac{ikf}{f'_0 R}ax_5\right) p_1\left(\frac{f}{f'_0}x_5, \frac{f}{f'_0}y_5\right) \times \\
& \times p_2\left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta}x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta}y_5\right] \left\{ \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2}\left(x_5 - \frac{f'_0}{f}\right)^2 + y_5^2\right] \right\} \otimes \\
& \otimes F_1(x_5, y_5) \exp\left[-\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2}(x_5^2 + y_5^2)\right], \quad (13)
\end{aligned}$$

где $F_1(x_5, y_5)$ – Фурье-образ функции $t(-R\xi/f, -R\eta/f)$ с пространственными частотами $x_5/\lambda f'_0$, $y_5/\lambda f'_0$.

Если в пределах диаметра фильтрующего отверстия пространственного фильтра p_0 (см. рис. 3) изменение фазы $(kfax_5/f'_0 R) \leq \pi$, то распределение комплексной амплитуды поля на его выходе принимает вид

$$\begin{aligned}
u(x_5, y_5) \sim & p_0(x_5, y_5) \left\{ \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \otimes \right. \\
& \otimes F_1(x_5, y_5) \exp\left[-\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \left. \right\} + \exp\left(\frac{ika^2}{2R}\right) \times
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \left\{ \exp\left\{\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2}\left[\left(x_5 - \frac{f'_0}{f}a\right)^2 + y_5^2\right]\right\} \otimes \right. \\
& \otimes F_1(x_5, y_5) \exp\left[-\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \left. \right\}, \quad (14)
\end{aligned}$$

где $p_0(x_5, y_5)$ – функция пропускания пространственного фильтра.

Положим для сокращения записи здесь и в дальнейшем, что для положительной линзы L''_0 (см. рис. 3) фокусное расстояние $f''_0 = f'_0$. Тогда в ее фокальной плоскости (x_6, y_6) распределение комплексной амплитуды поля определяется выражением

$$\begin{aligned}
u(x_6, y_6) \sim & \left\{ \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \right\} \left\{ \exp\left[\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \right\} \otimes \\
& \otimes t\left(\frac{R}{f}x_6, \frac{R}{f}y_6\right) + \exp\left(\frac{ik}{2R}a^2\right) \exp\left(-\frac{ikax_6}{f}\right) \times \\
& \times \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \left\{ \exp\left[\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \right\} \otimes \\
& \otimes t\left(\frac{R}{f}x_6, \frac{R}{f}y_6\right) \left. \right\} \otimes P_0(x_6, y_6), \quad (15)
\end{aligned}$$

где $P_0(x_6, y_6)$ – Фурье-образ функции $p_0(x_5, y_5)$ с пространственными частотами $x_6/\lambda f'_0$, $y_6/\lambda f'_0$.

Если в (15) период изменения функции $1 + \exp(ika^2/2R) \exp(-ikax_6/f)$ хотя бы на порядок превышает ширину функции $P_0(x_6, y_6)$, которая определяет размер субъективного спекла в плоскости регистрации 3 (см. рис. 3), то вынесем ее из-под знака интеграла свертки с функцией $P_0(x_6, y_6)$. Кроме того, воспользуемся интегральным представлением определения свертки. Тогда распределение освещенности в плоскости (x_6, y_6) принимает вид

$$\begin{aligned}
I(x_6, y_6) \sim & \left[1 + \cos\left(\frac{ka^2}{2R} - \frac{kax_6}{f}\right) \right] F(-x_6, -y_6) \otimes \\
& \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \otimes P_0(x_6, y_6) \left. \right|^2. \quad (16)
\end{aligned}$$

Из (16) следует, что при построении изображения голограммы с помощью оптической системы типа зрительной трубы Кеплера с проведением в ее частной плоскости пространственной фильтрации дифракционного поля в плоскости формирования изображения голограммы образуется интерференционная картина в виде периодически чередующихся на оси x интерференционных полос, модулирующих субъективную спекл-структуру. При этом период $\Delta x_6 = \lambda f/a$ интерференционных полос не зависит от радиуса кривизны сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения рассеивателя на стадии записи голограммы, а чувствительность интерферометра к поперечному

перемещению диффузно рассеивающей свет плоской поверхности зависит от коэффициента, определяющего масштаб Фурье-образа функции $t(-x_1, -y_1)$. Кроме того, когда на стадии восстановления голограммы диаметр коллимированного пучка (см. рис. 3) превышает вышеуказанное значение D_1 и это значение превышает также диаметр линзы L'_0 , то пространственная протяженность интерференционной картины, локализуемой в плоскости голограммы, ограничивается областью существования Фурье-образа функции $t(-x_1, -y_1)$.

Для анализа динамики поведения эквидистантно расположенных на оси x интерференционных полос в плоскостях их локализации (в Фурье-плоскости и в плоскости голограммы) положим, что пространственная фильтрация дифракционного поля в плоскости голограммы выполняется вне оптической оси, т.е. центр фильтрующего отверстия на рис. 2 имеет координаты $x_{04}, 0$. Тогда с учетом того, что его диаметр много больше области существования функции $P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4)$, а также условия, заключающегося в том, что в пределах диаметра фильтрующего отверстия изменение фазы $(kax_4/f) \leq \pi$, распределение комплексной амплитуды поля на выходе пространственного фильтра принимает вид

$$\begin{aligned} u(x_4, y_4) &\sim p_0(x_4, y_4) \{ F(x_4 + x_{04}, y_4) \otimes \\ &\otimes \exp \left[-\frac{ikR}{2f^2} [(x_4 + x_{04})^2 + y_4^2] \right] \exp \left(\frac{ikx_{04}x_4}{f} \right) P_1(x_4, y_4) \otimes \\ &\otimes \exp \left(\frac{ikx_{04}x_4}{f} \right) P_2(x_4, y_4) + \exp \left(\frac{ikax_{04}}{f} \right) \exp \left(-\frac{ik}{2R} a^2 \right) \times \\ &\times F(x_4 + x_{04}, y_4) \otimes \exp \left[-\frac{ikR}{2f^2} [(x_4 + x_{04})^2 + y_4^2] \right] \otimes \\ &\otimes \exp \left(\frac{ikx_{04}x_4}{f} \right) \exp \left[-\frac{ik(x_4 + x_{04})a}{f} \right] P_1(x_4, y_4) \otimes \\ &\otimes \exp \left(\frac{ikx_{04}x_4}{f} \right) \exp \left[-\frac{ik(x_4 + x_{04})a}{f} \right] P_2(x_4, y_4) \}. \quad (17) \end{aligned}$$

В результате выполнения преобразования Фурье распределение комплексной амплитуды поля в Фурье-плоскости (x_5, y_5) определяется выражением

$$\begin{aligned} u(x_5, y_5) &\sim \left\{ p_1 \left(\frac{f}{f'_0} x_5 - x_{04}, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \times \right. \\ &\times p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5 - \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f \Delta} x_{04}, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right] \times \\ &\times t \left(\frac{f}{f'_0} x_5, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \exp \left[\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2} (x_5^2 + y_5^2) \right] \times \\ &\times \exp \left[\frac{i2kx_{04}x_5}{f'_0} \right] + p_1 \left(\frac{f}{f'_0} x_5 + a - x_{04}, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \times \\ &\times p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5 + \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f \Delta} (a - x_{04}), \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right] \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\times \exp \left(\frac{ikfax_5}{Rf'_0} \right) \exp \left(-\frac{ik}{f} ax_{04} \right) \times \\ &\times \exp \left(-\frac{ikax_{04}}{R} \right) \} \otimes P_0(x_5, y_5), \quad (18) \end{aligned}$$

на основании которого распределение освещенности в плоскости регистрации \mathcal{Z} (см. рис. 2) с учетом $x_{04} \gg a$ принимает вид

$$\begin{aligned} I(x_5, y_5) &\sim \left[1 + \cos \left(\frac{ka^2}{2R} + \frac{kfax_5}{Rf'_0} - \frac{kax_{04}}{f} - \frac{kax_{04}}{R} \right) \right] \times \\ &\times \left| p_1 \left(\frac{f}{f'_0} x_5 - x_{04}, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \right| \times \\ &\times p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5 - \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f \Delta} x_{04}, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right] \times \\ &\times t \left(\frac{f}{f'_0} x_5, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \exp \left[\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2} (x_5^2 + y_5^2) \right] \times \\ &\times \exp \left[\frac{i2kx_{04}x_5}{f'_0} \right] \otimes P_0(x_5, y_5) \Big|^2. \quad (19) \end{aligned}$$

Из сравнения (11), (19) следует, что при смещении на оси x в плоскости голограммы центра фильтрующего отверстия имеет место смещение интерференционной картины (и изображения зрачков линз L_1, L_2 (см. рис.1)) относительно неподвижного изображения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности из-за параллакса интерференционных полос, который обусловлен однородным смещением указанной выше составляющей субъективного спекла, соответствующего второй экспозиции, и свойств субъективных спеклов. При этом для фиксированных λ, a, f, f'_0 величина смещенных интерференционных полос из-за явления параллакса зависит не только от радиуса кривизны фронта сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения рассеивателя на стадии записи голограммы, но и его знака. В частном случае сходящейся сферической волны с $R = f$ распределение освещенности в плоскости (x_5, y_5) (см. рис. 2) определяется выражением

$$\begin{aligned} I(x_5, y_5) &\sim \left[1 + \cos \left(-\frac{ka^2}{2f} - \frac{kax_5}{f} + \frac{kax_{04}}{f} \right) \right] \times \\ &\times \left| p_1 \left(\frac{f}{f'_0} x_5 - x_{04}, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \right| \times \\ &\times p_2 \left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} x_5 - \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f \Delta} x_{04}, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f'_0 \Delta} y_5 \right] \times \\ &\times t \left(\frac{f}{f'_0} x_5, \frac{f}{f'_0} y_5 \right) \exp \left[\frac{-ikf}{2f_0'^2} (x_5^2 + y_5^2) \right] \times \\ &\times \exp \left[\frac{i2kx_{04}x_5}{f'_0} \right] \otimes P_0(x_5, y_5) \Big|^2. \quad (20) \end{aligned}$$

Кроме того, в процессе изменения x_{04} изменяется фаза интерференционной картины на π , когда центр фильтрующего отверстия перемещается, например, с минимума интерференционной картины, локализуемой в плоскости голограммы, на ее максимальное значение («живые» интерференционные полосы).

Если пространственная фильтрация дифракционного поля выполняется в Фурье-плоскости (x_5, y_5) (см. рис. 3) в точке с координатами $x_{05}, 0$, то распределение комплексной амплитуды поля на выходе фильтрующего отверстия, в пределах диаметра которого изменение фазы $kfax_5/Rf'_0 \leq \pi$, принимает вид

$$\begin{aligned} u(x_5, y_5) \sim p_0(x_5, y_5) & \left\{ \exp \left[\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2} [(x_5 + x_{05})^2 + y_5^2] \right] \right\} \otimes \\ & \otimes F_1(x_5 + x_{05}, y_5) \exp \left\{ -\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2} [(x_5 + x_{05})^2 + y_5^2] \right\} + \\ & + \exp \left(\frac{ika^2}{2R} \right) \exp \left(\frac{kfax_{05}}{f_0'R} \right) \times \\ & \times \exp \left\{ \frac{ikf^2}{2Rf_0'^2} \left[\left(x_5 + x_{05} - \frac{f_0'a}{f} \right)^2 + y_5^2 \right] \right\} \otimes \\ & \otimes F_1(x_5 + x_{05}, y_5) \exp \left\{ -\frac{ikf^2}{2Rf_0'^2} [(x_5 + x_{05})^2 + y_5^2] \right\}. \end{aligned} \quad (21)$$

В этом случае в результате выполнения преобразования Фурье распределение комплексной амплитуды поля в плоскости (x_6, y_6) (см. рис. 3) определяется выражением

$$\begin{aligned} u(x_6, y_6) \sim & \left\{ \exp \left(\frac{ikx_{05}x_6}{f_0'} \right) \exp \left[-\frac{ikR}{2f^2} (x_6^2 + y_6^2) \right] \right\} \times \\ & \times \left\{ \exp \left(\frac{ikx_{05}x_6}{f_0'} \right) \exp \left[\frac{ikR}{2f^2} (x_6^2 + y_6^2) \right] \right\} \otimes \\ & \otimes t \left(\frac{R}{f} x_6, \frac{R}{f} y_6 \right) \exp \left(\frac{ikx_{05}x_6}{f_0'} \right) \left\{ + \exp \left(\frac{ika^2}{2R} \right) \exp \left(\frac{kfax_{05}}{f_0'R} \right) \times \right. \\ & \times \exp \left[\frac{ik}{f_0'} \left(x_{05} - \frac{f_0'a}{f} \right) x_6 \right] \exp \left[-\frac{ikR}{2f^2} (x_6^2 + y_6^2) \right] \times \\ & \times \left\{ \exp \left(\frac{ikx_{05}x_6}{f_0'} \right) \exp \left[\frac{ikR}{2f^2} (x_6^2 + y_6^2) \right] \otimes t \left(\frac{R}{f} x_6, \frac{R}{f} y_6 \right) \times \right. \\ & \left. \left. \times \exp \left(\frac{ikx_{05}x_6}{f_0'} \right) \right\} \right\} \otimes P_0(x_6, y_6), \end{aligned} \quad (22)$$

на основании которого с учетом известного [5] тождества и интегрального представления операции свертки распределение освещенности в плоскости (x_6, y_6) формирования изображения голограммы принимает вид

$$I(x_6, y_6) \sim \left[1 + \cos \left(\frac{ka^2}{2R} - \frac{kax_6}{f} + \frac{kfax_{05}}{f_0'R} \right) \right] \times$$

$$\begin{aligned} & \times \left| \exp \left(\frac{i2kx_{05}x_6}{f_0'} \right) \right\{ F(-x_6, -y_6) \otimes \\ & \otimes \exp \left[-\frac{ikR}{2f^2} (x_6^2 + y_6^2) \right] \right\} \otimes P_0(x_6, y_6) \Big|^2. \end{aligned} \quad (23)$$

Из сравнения (16), (23) следует, что при смещении на оси x в Фурье-плоскости центра фильтрующего отверстия имеет место смещение интерференционной картины из-за параллакса интерференционных полос, связанного с однородным смещением в плоскости голограммы указанной выше составляющей субъективного спекла, соответствующего второй экспозиции. Кроме того, в процессе изменения x_{05} меняется фаза интерференционной картины на π , когда центр фильтрующего отверстия перемещается, например, с минимума интерференционной картины, локализуемой в Фурье-плоскости, на ее максимальное значение.

Из вышеприведенного анализа образования интерференционных картин, характеризующих поперечное перемещение диффузно рассеивающей свет плоской поверхности, следует, что, как и в голографическом интерферометре [1], они локализируются в плоскости голограммы и в Фурье-плоскости. Однако в рассматриваемом голографическом интерферометре интерференционная картина, локализуемая в плоскости формирования изображения рассеивателя, образуется в Фурье-плоскости, где совмещаются идентичные спеклы двух экспозиций, когда выполняется пространственная фильтрация дифракционного поля в плоскости голограммы. При этом чувствительность интерферометра к поперечному перемещению рассеивателя зависит от фокусного расстояния микроскопа и радиуса кривизны волнового фронта сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения рассеивателя на стадии записи голограммы. Кроме того, как и в [1], для интерференционной картины, локализуемой в плоскости формирования изображения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности, характерно явление параллакса интерференционных полос.

В свою очередь наличие угла наклона в плоскости голограммы у субъективного спекл-поля, соответствующего второй экспозиции, приводит к образованию в ней интерференционной картины при выполнении пространственной фильтрации дифракционного поля в Фурье-плоскости. При этом чувствительность интерферометра к поперечному перемещению рассеивателя зависит от фокусного расстояния микроскопа и имеет место параллакс интерференционных полос из-за смещения в плоскости голограммы субъективных спеклов, соответствующих второй экспозиции.

Пусть теперь перед повторным экспонированием фотопластинки 2 (см. рис. 1) матовый экран 1 оказывается смещенным по оси z на величину $\Delta l \ll l_1, R$. Тогда в используемом приближении распределение комплексной амплитуды поля, соответствующее второй экспозиции, в предметном канале в плоскости фотопластинки запишем в виде

$$\begin{aligned}
u_2(x_4, y_4) &\sim \exp(ik\Delta l) \iiint_{-\infty}^{\infty} \iint_{-\infty}^{\infty} t(x_1, y_1) \times \\
&\times \exp\left[\frac{ik}{2(R-\Delta l)}(x_1^2 + y_1^2)\right] \times \\
&\times \exp\left\{\frac{ik}{2(l_1 + \Delta l)}[(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]\right\} \times \\
&\times p_1(x_2, y_2) \exp\left[-\frac{ik}{2f_1}(x_2^2 + y_2^2)\right] \times \\
&\times \exp\left\{\frac{ik}{2(f_1 + \Delta + f_2)}[(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2]\right\} \times \\
&\times p_2(x_3, y_3) \exp\left[-\frac{ik}{2f_2}(x_3^2 + y_3^2)\right] \times \\
&\times \exp\left\{\frac{ik}{2l_2}[(x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2]\right\} dx_1 dy_1 dx_2 dy_2 dx_3 dy_3,
\end{aligned} \tag{24}$$

которое в результате выполнения преобразований принимает следующую форму:

$$\begin{aligned}
u_2(x_4, y_4) &\sim \exp(ik\Delta l) \exp\left[-\frac{ik\Delta l}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \times \\
&\times \left\{F(x_4, y_4) \otimes \exp\left[-\frac{ik(R-\Delta l)}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes \right. \\
&\left. \otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4)\right\}.
\end{aligned} \tag{25}$$

Согласно (25) квадратичный экспоненциальный фазовый множитель $\exp[-ik\Delta l(x_4^2 + y_4^2)/2f^2]$ характеризует общий и изменяющийся по радиусу от оптической оси угол наклона субъективного спекл-поля, соответствующего второй экспозиции, по отношению к спекл-полю первой экспозиции. При этом имеет место дополнительное изменение угла наклона по радиусу от оптической оси в плоскости фотопластинки субъективных спеклов по отношению к идентичным спеклам первой экспозиции из-за фазового множителя $\exp[-ik(R-\Delta l)(x_4^2 + y_4^2)/2f^2]$, находящегося под знаком интеграла свертки. Причем в отличие от предыдущего угла наклона имеется зависимость его от радиуса кривизны сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности на стадии записи голограммы.

В рассматриваемом случае контроля продольного перемещения рассеивателя при условии выполнения двухэкспозиционной записи квази-Фурье-голограммы на линейном участке кривой почернения фотоматериала распределение комплексной амплитуды ее пропускания, соответствующее (-1) -му порядку дифракции, на основании (4), (25) принимает вид

$$\begin{aligned}
\tau'(x_4, y_4) &\sim \exp(-ikx_4 \sin\theta) \left\{F(x_4, y_4) \otimes \right. \\
&\otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4) + \\
&+ \exp(ik\Delta l) \exp\left[-\frac{ik\Delta l}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \left\{F(x_4, y_4) \otimes \right. \\
&\left. \otimes \exp\left[-\frac{ik(R-\Delta l)}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4)\right\} \left. \right\}.
\end{aligned} \tag{26}$$

Если на стадии восстановления голограммы (см. рис. 2) в ее плоскости на оптической оси проводится пространственная фильтрация дифракционного поля, то положим, что в пределах диаметра фильтрующего отверстия изменение фазы $[-k\Delta l(x_4^2 + y_4^2)/2f^2]$ не превосходит π . Тогда на выходе пространственного фильтра p_0 распределение комплексной амплитуды поля определяется выражением

$$\begin{aligned}
u'(x_4, y_4) &\sim p_0(x_4, y_4) \left\{F(x_4, y_4) \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes \right. \\
&\otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4) + \exp(ik\Delta l) \left\{F(x_4, y_4) \otimes \right. \\
&\left. \otimes \exp\left[-\frac{ik(R-\Delta l)}{2f^2}(x_4^2 + y_4^2)\right] \otimes P_1(x_4, y_4) \otimes P_2(x_4, y_4)\right\} \left. \right\}.
\end{aligned} \tag{27}$$

В результате выполнения Фурье-преобразования распределение комплексной амплитуды поля в плоскости (x_5, y_5) (см. рис. 2) принимает вид

$$\begin{aligned}
u'(x_5, y_5) &\sim \left\{p_1\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) p_2\left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}y_5\right] \times \right. \\
&\times t\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \times \\
&\left. \times \left\{1 + \exp(ik\Delta l) \exp\left[\frac{ikf^2\Delta l}{2R^2f_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right]\right\} \right\} \otimes P_0(x_5, y_5).
\end{aligned} \tag{28}$$

Если период изменения функции $1 + \exp(ik\Delta l) \times \exp[ikf^2\Delta l(x_5^2 + y_5^2)/2R^2f_0^2]$ хотя бы на порядок превышает ширину функции $P_0(x_5, y_5)$, то вынесем ее в (28) из-под знака интеграла свертки. Тогда распределение освещенности в плоскости регистрации 3 (см. рис. 2) определяется выражением

$$\begin{aligned}
I'(x_5, y_5) &\sim \left\{1 + \cos\left[k\Delta l + \frac{kf^2\Delta l}{2R^2f_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right]\right\} \times \\
&\times \left|p_1\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) p_2\left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}y_5\right]\right| \times
\end{aligned}$$

$$\times t\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] P_0(x_5, y_5) \Big| ^2. \quad (29)$$

Из (29) следует, что в Фурье-плоскости формирования изображения рассеивателя, ограниченного углом поля зрения микроскопа, субъективная спекл-структура промодулирована полосами равного наклона – системой концентрических интерференционных колец. Причем измерение их радиусов в соседних порядках интерференции обеспечивает возможность определения продольного перемещения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности для известных величин λ , R , f , f_0 . При этом чувствительность интерферометра к продольному перемещению рассеивателя не зависит от знака радиуса кривизны R и увеличивается с уменьшением его величины из-за увеличения в плоскости голограммы изменяющегося по радиусу от оптической оси угла наклона субъективных спеклов, соответствующих второй экспозиции, по отношению к идентичным спеклам первой экспозиции.

Когда на стадии восстановления двухэкспозиционной квази-Фурье-голограммы, характеризующей продольное перемещение рассеивателя, пространственная фильтрация дифракционного поля выполняется в плоскости (x_5, y_5) (см. рис. 3) формирования изображения рассеивателя, то без учета пространственной ограниченности поля распределение его комплексной амплитуды в указанной плоскости принимает вид

$$\begin{aligned} u'(x_5, y_5) \sim p_1\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) p_2\left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}y_5\right] \times \\ \times t\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] + \\ + \exp(ik\Delta l) \exp\left[\frac{ikf^2}{2f_0^2\Delta l}(x_5^2 + y_5^2)\right] \otimes \left\{ p_1\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \times \right. \\ \times p_2\left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}x_5, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}y_5\right] t\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \times \\ \left. \times \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \exp\left[\frac{ikf^2\Delta l}{2R^2f_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \right\}. \quad (30) \end{aligned}$$

Если центр фильтрующего отверстия находится на оптической оси и в его пределах изменение фазы $\left[kf^2\Delta l(x_4^2 + y_4^2)/2R^2f_0^2\right] \leq \pi$, с учетом при этом, что по порядку величины $\exp\left[kf^2(x_4^2 + y_4^2)/2f_0^2\Delta l\right] \approx \delta(x_5, y_5)$, то распределение комплексной амплитуды поля на выходе пространственного фильтра определяется выражением

$$\begin{aligned} u'(x_5, y_5) \sim p_0(x_5, y_5) \left\{ t\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] + \right. \\ \left. + \exp(ik\Delta l) \exp\left[\frac{ikf^2}{2f_0^2\Delta l}(x_5^2 + y_5^2)\right] \otimes \right. \end{aligned}$$

$$\left. \otimes t\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \right\}. \quad (31)$$

В результате выполнения Фурье-преобразования распределение комплексной амплитуды поля в плоскости (x_6, y_6) (см. рис. 3) принимает вид

$$\begin{aligned} u'(x_6, y_6) \sim \left\{ F(-x_6, -y_6) \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \right\} \times \\ \times \left\{ 1 + \exp(ik\Delta l) \exp\left[-\frac{ik\Delta l}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \right\} \otimes P_0(x_6, y_6), \quad (32) \end{aligned}$$

на основании которого, когда период изменения функции $1 + \exp(ik\Delta l) \exp\left[-ik\Delta l(x_6^2 + y_6^2)/2f^2\right]$ хотя бы на порядок превосходит ширину функции $P_0(x_6, y_6)$, распределение освещенности в плоскости регистрации 3 (см. рис. 3) определяется выражением

$$\begin{aligned} I'(x_6, y_6) \sim \left\{ 1 + \cos\left[k\Delta l - \frac{k\Delta l}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \right\} \times \\ \times \left| F(-x_6, -y_6) \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \otimes P_0(x_6, y_6) \right|^2. \quad (33) \end{aligned}$$

Согласно (33) в плоскости формирования изображения голограммы субъективная спекл-структура промодулирована полосами равного наклона – системой концентрических колец. При этом чувствительность интерферометра к продольному перемещению диффузно рассеивающей свет плоской поверхности зависит от фокусного расстояния микроскопа и не зависит от радиуса кривизны фронта сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения рассеивателя на стадии записи голограммы. Кроме того, как и в случае контроля поперечного перемещения рассеивателя, с учетом вышеприведенных условий восстановления голограммы пространственная протяженность интерференционной картины ограничивается областью существования Фурье-образа функции $t(-x_1, -y_1)$. Причем, когда $R = \infty$ и в плоскости голограммы формируется Фурье-образ функции $t(-x_1, -y_1)$, то в ней образуется «замороженная» интерференционная картина, для регистрации которой не требуется выполнения пространственной фильтрации дифракционного поля.

Для анализа динамики поведения интерференционных полос, характеризующих продольное перемещение рассеивателя, положим, что пространственная фильтрация дифракционного поля в плоскости голограммы выполняется вне оптической оси, т.е. центр фильтрующего отверстия на рис. 2 имеет координаты $x_{04}, 0$. Тогда распределение комплексной амплитуды поля на выходе пространственного фильтра принимает вид

$$\begin{aligned} u'(x_4, y_4) \sim p_0(x_4, y_4) \left\{ F(x_4 + x_{04}, y_4) \otimes \right. \\ \left. \otimes \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}[(x_4 + x_{04})^2 + y_4^2]\right] \otimes \exp\left(\frac{ikx_{04}x_4}{f}\right) \times \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times P_1(x_4, y_4) \otimes \exp\left(\frac{ikx_{04}x_4}{f}\right) P_2(x_4, y_4) + \exp(ik\Delta l) \times \\
& \quad \times \exp\left(-\frac{ik\Delta l x_{04}^2}{2f^2}\right) F(x_4 + x_{04}, y_4) \otimes \\
& \otimes \exp\left\{-\frac{ik(R - \Delta l)}{2f^2}[(x_4 + x_{04})^2 + y_4^2]\right\} \otimes \exp\left(\frac{ikx_{04}x_4}{f}\right) \times \\
& \quad \times P_1(x_4, y_4) \otimes \exp\left(\frac{ikx_{04}x_4}{f}\right) P_2(x_4, y_4) \Big\}. \quad (34)
\end{aligned}$$

В результате выполнения Фурье-преобразования распределение комплексной амплитуды поля в плоскости (x_5, y_5) (см. рис. 2) формирования изображения рассеивателя определяется выражением

$$\begin{aligned}
u'(x_5, y_5) & \sim \left\{ p_1\left(\frac{f}{f_0}x_5 - x_{04}, \frac{f}{f_0}y_5\right) \times \right. \\
& \times p_2\left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}x_5 - \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f\Delta}x_{04}, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}y_5\right] \times \\
& \times t\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \exp\left(\frac{i2kx_{04}x_5}{f_0}\right) \times \\
& \quad \times \left\{ 1 + \exp(ik\Delta l) \exp\left(-\frac{ik\Delta l x_{04}^2}{2f^2}\right) \times \right. \\
& \quad \left. \times \exp\left[\frac{ikf^2\Delta l}{2R^2f_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \right\} \Big\} \otimes P_0(x_5, y_5), \quad (35)
\end{aligned}$$

на основании которого распределение освещенности в плоскости регистрации 3 (см. рис. 2) принимает вид

$$\begin{aligned}
I'(x_5, y_5) & \sim \left\{ 1 + \cos\left[k\Delta l + \frac{kf^2\Delta l}{2R^2f_0^2}(x_5^2 + y_5^2) - \frac{k\Delta l x_{04}^2}{2f^2}\right] \times \right. \\
& \quad \times \left| p_1\left(\frac{f}{f_0}x_5 - x_{04}, \frac{f}{f_0}y_5\right) \times \right. \\
& \quad \times p_2\left[\frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}x_5 - \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f\Delta}x_{04}, \frac{f_2(f_2 + \Delta)}{f_0\Delta}y_5\right] \times \\
& \quad \times t\left(\frac{f}{f_0}x_5, \frac{f}{f_0}y_5\right) \exp\left[\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}(x_5^2 + y_5^2)\right] \times \\
& \quad \left. \left. \times \exp\left(\frac{i2kx_{04}x_5}{f_0}\right) \otimes P_0(x_5, y_5) \right|^2 \right\}. \quad (36)
\end{aligned}$$

Сравнение выражений (29), (36) показывает, что при смещении фильтрующего отверстия в плоскости голограммы сохраняется положение центра интерференционной картины относительно неподвижного изображения рассеивателя, т.е. отсутствует параллакс интерференционных полос. При этом в процессе изменения координаты x_{04} изменяется фаза интерференционной картины на π , когда центр фильтрующего отверстия перемещается, например, от максимума интерференционной картины, локали-

зующейся в плоскости голограммы, до ее минимального значения.

Если на стадии восстановления рассматриваемой двухэкспозиционной квази-Фурье-голограммы согласно рис. 3 пространственная фильтрация дифракционного поля выполняется вне оптической оси, например центр фильтрующего отверстия имеет координаты $x_{05}, 0$, то распределение комплексной амплитуды поля на выходе пространственного фильтра определяется выражением

$$\begin{aligned}
u'(x_5, y_5) & \sim p_0(x_5, y_5) \left\{ t\left[\frac{f}{f_0}(x_5 + x_{05}), \frac{f}{f_0}y_5\right] \times \right. \\
& \times \exp\left\{\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}[(x_5 + x_{05})^2 + y_5^2]\right\} + \exp(ik\Delta l) \times \\
& \quad \times \exp\left(\frac{ikf^2\Delta l x_{05}^2}{2R^2f_0^2}\right) \exp\left[\frac{ikf^2}{2f_0^2\Delta l}(x_5^2 + y_5^2)\right] \otimes \\
& \otimes t\left[\frac{f}{f_0}(x_5 + x_{05}), \frac{f}{f_0}y_5\right] \exp\left\{\frac{ikf^2}{2Rf_0^2}[(x_5 + x_{05})^2 + y_5^2]\right\} \Big\}. \quad (37)
\end{aligned}$$

В результате выполнения Фурье-преобразования распределение комплексной амплитуды поля в плоскости (x_6, y_6) (см. рис. 3) принимает вид

$$\begin{aligned}
u'(x_6, y_6) & \sim \left\{ \exp\left(\frac{ikf}{f_0^2}x_{05}x_6\right) F(-x_6, -y_6) \otimes \exp\left(\frac{ikx_{05}x_6}{f_0}\right) \times \right. \\
& \quad \times \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \Big\} \left\{ 1 + \exp(ik\Delta l) \exp\left(\frac{ikf^2\Delta l x_{05}^2}{2Rf_0^2}\right) \times \right. \\
& \quad \left. \times \exp\left[-\frac{ik\Delta l}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \right\} \otimes P_0(x_6, y_6), \quad (38)
\end{aligned}$$

на основании которого распределение освещенности в плоскости регистрации 3 (см. рис. 3) определяется выражением

$$\begin{aligned}
I'(x_6, y_6) & \sim \left\{ 1 + \cos\left[k\Delta l - \frac{k\Delta l(x_6^2 + y_6^2)}{2f^2} + \frac{kf^2\Delta l x_{05}^2}{2R^2f_0^2}\right] \times \right. \\
& \quad \times \left| \exp\left(\frac{ikf}{f_0^2}x_{05}x_6\right) F(-x_6, -y_6) \otimes \exp\left(\frac{ikx_{05}x_6}{f_0}\right) \times \right. \\
& \quad \left. \left. \times \exp\left[-\frac{ikR}{2f^2}(x_6^2 + y_6^2)\right] \otimes P_0(x_6, y_6) \right|^2 \right\}. \quad (39)
\end{aligned}$$

Из сравнения (33), (39) следует, что при смещении фильтрующего отверстия в Фурье-плоскости сохраняется положение центра интерференционной картины, т.е. отсутствует параллакс интерференционных полос. При этом в процессе изменения координаты x_{05} изменяется фаза интерференционной картины на π , когда центр фильтрующего отверстия перемещается, например, от максимума интерференционной картины, локализуемой в плоскости голограммы, до ее минимального значения.

Из вышеприведенного анализа образования интерференционных картин, характеризующих продольное перемещение диффузно рассеивающей свет

плоской поверхности, следует, что, как и в голографическом интерферометре [1], они локализируются в двух плоскостях: в плоскости голограммы и в Фурье-плоскости. Однако в рассматриваемом голографическом интерферометре интерференционная картина, локализуемая в плоскости формирования изображения рассеивателя, образуется в Фурье-плоскости, где за счет выполнения пространственной фильтрации дифракционного поля в плоскости голограммы оказываются идентичными субъективные спеклы двух экспозиций. При этом чувствительность интерферометра к продольному перемещению рассеивателя зависит от фокусного расстояния микроскопа и радиуса кривизны сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности на стадии записи голограммы. В свою очередь чувствительность интерферометра для интерференционной картины, локализуемой в плоскости голограммы и регистрируемой в плоскости формирования ее изображения, где образуются идентичные спеклы двух экспозиций при выполнении пространственной фильтрации дифракционного поля в Фурье-плоскости, зависит от фокусного расстояния микроскопа.

Кроме того, в рассматриваемом интерферометре, как и в голографическом [1], для контроля продольного перемещения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности характерно отсутствие параллакса интерференционных полос. Однако в нем механизм образования интерференционных картин связан с углом наклона в плоскости голограммы субъективных спеклов, соответствующих второй экспозиции, которые изменяются по радиусу от оптической оси, тогда как в [1] механизм образования интерференционных картин, характеризующих продольное перемещение рассеивателя, связан как с изменяющимся по радиусу от оптической оси углом наклона в плоскости голограммы субъективных спеклов, соответствующих второй экспозиции, так и с их уширением в плоскости голограммы.

В эксперименте двухэкспозиционные квази-Фурье- и Фурье-голограммы записывались на фотопластинках типа Микрат ВРЛ с помощью излучения He-Ne-лазера на $0,6328 \text{ мкм}$ со следующими параметрами микроскопа: $f_1 = 50 \text{ мм}$, $f_2 = 90 \text{ мм}$, $\Delta = 100 \text{ мм}$, $d_1 = 15 \text{ мм}$, $d_2 = 20 \text{ мм}$. Для плоского опорного пучка диаметром 35 мм угол $\theta = 11^\circ$. Различные радиусы кривизны расходящейся или сходящейся сферической волны когерентного излучения для освещения матового экрана выбирались в пределах $30 \leq |R| \leq \infty$. Диаметр освещенной области матового экрана составлял 20 мм . Методика экспериментальных исследований заключалась в сравнении результатов записи голограмм для фиксированной величины как поперечного $a = (0,02 \pm 0,002) \text{ мм}$, так и продольного $\Delta l = (0,5 \pm 0,002) \text{ мм}$ перемещения рассеивателя.

В качестве примера на рис. 4 представлены интерференционные полосы, локализуемые в Фурье-плоскости, где формируется изображение матового экрана, и характеризующие его поперечное перемещение. Интерференционные картины регистрировались в фокальной плоскости объектива с $f'_0 = 50 \text{ мм}$

при проведении пространственной фильтрации дифракционного поля в плоскости голограммы путем ее восстановления малоапертурным ($\approx 1 \text{ мм}$) лазерным пучком. Матовый экран освещался когерентным излучением со сходящейся сферической волной с $R = 70 \text{ мм}$ (рис. 4, а) и расходящейся с $R = 45 \text{ мм}$ (рис. 4, б). Буква «Т» (увеличенное и перевернутое изображение в Фурье-плоскости) была предварительно нанесена на матовый экран, а метка в виде цифры «2» — на боковую поверхность линзы L_2 (см. рис. 1).

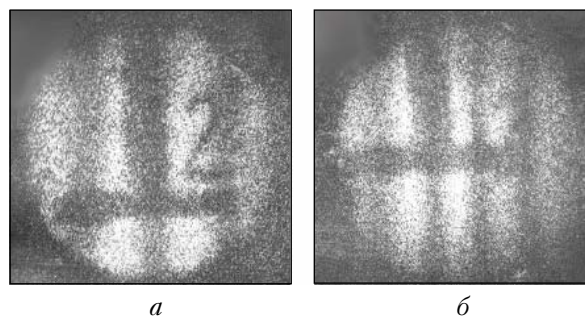


Рис. 4. Интерференционные картины, локализуемые в плоскости формирования изображения рассеивателя и характеризующие его поперечное перемещение: а — освещение рассеивателя сходящейся сферической волной, б — расходящейся

Локализуемая в плоскости голограммы интерференционная картина, характеризующая поперечное перемещение рассеивателя, представлена на рис. 5, а. Ее регистрация выполнялась при освещении голограммы (см. рис. 3) коллимированным пучком диаметром 30 мм и с проведением пространственной фильтрации дифракционного поля в фокальной плоскости линзы L'_0 (см. рис. 3) диаметром 40 мм с фокусным расстоянием 200 мм . При этом пространственная протяженность интерференционной картины, локализуемой в плоскости голограммы, составляла 9 мм и соответствовала расчетной величине.

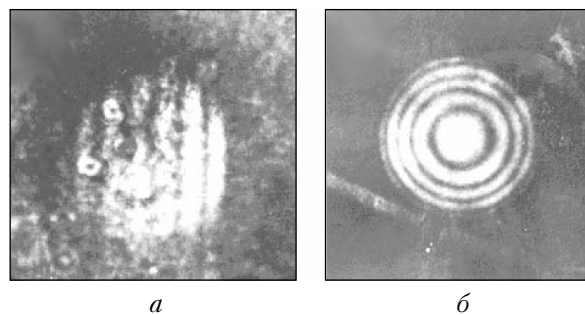


Рис. 5. Интерференционные картины, локализуемые в плоскости голограммы и характеризующие: а — поперечное, б — продольное перемещение рассеивателя

Для известных величин λ , a , R , f , f'_0 рассчитывались периоды Δx_5 , Δx_6 интерференционных полос, локализуемых как в Фурье-плоскости, так и в плоскости голограммы, и сравнивались с результатами их измерений. С точностью до ошибки (10%), допускаемой в эксперименте, имеет место их соответствие.

Интерференционные картины на рис. 6 локализируются в плоскости формирования изображения матового экрана и характеризуют его продольное перемещение, когда на стадии записи голограммы рассеиватель освещается когерентным излучением со сходящейся сферической волной с $R = 50$ мм (рис. 6, *а*) и с расходящейся с $R = 40$ мм (рис. 6, *б*).

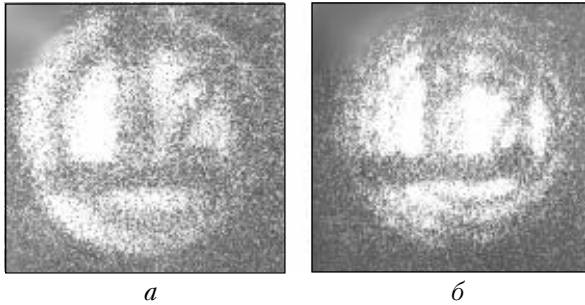


Рис. 6. Интерференционные картины, локализующиеся в Фурье-плоскости и характеризующие продольное перемещение матового экрана при его освещении когерентным излучением: *а* – со сходящейся, *б* – с расходящейся сферической волной

Их регистрация выполнялась аналогично регистрации интерференционных картин, характеризующих поперечное перемещение рассеивателя и локализующихся в Фурье-плоскости. В свою очередь интерференционная картина, локализующаяся в плоскости голограммы и характеризующая продольное перемещение рассеивателя, соответствует рис. 5, *б*. Ее регистрация выполнялась аналогично регистрации интерференционной картины, характеризующей поперечное перемещение рассеивателя и локализующейся в плоскости голограммы.

Так как для интерференционных картин на рис. 6 величина продольного перемещения

$$\Delta l = 2\lambda R^2 f_0'^2 / f^2 (r_2^2 - r_1^2),$$

где r_1, r_2 – радиусы интерференционных колец в соседних порядках интерференции, то для известных величин λ, R, f, f_0' и измеренных величин r_1, r_2 определялось продольное перемещение матового экрана и сравнивалось с величиной $\Delta l = (0,5 \pm 0,002)$ мм. В свою очередь для интерференционной картины на рис. 5, *б*, локализующейся в плоскости голограммы, продольное перемещение $\Delta l = 2\lambda f^2 / (r_2^2 - r_1^2)$. В этом случае для известных величин λ, f и известной величины пространственной протяженности интерференционной картины, позволяющей провести измерение радиусов колец в соседних порядках интерференции, определялось продольное перемещение матового экрана и сравнивалось с величиной $\Delta l = (0,2 \pm 0,002)$ мм. С точностью до ошибки (10%), допускаемой в эксперименте, имеет место их соответствие.

Из вышеприведенного анализа формирования интерференционных картин, характеризующих поперечное или продольное перемещение диффузно рассеивающей свет плоской поверхности, становится оче-

видным то обстоятельство, что в случае двухэкспозиционной записи с помощью микроскопа Фурье-голограммы в ее плоскости локализируются «замороженные» интерференционные полосы при сочетании поперечного и продольного перемещения рассеивателя. Это объясняется тем, что в плоскости голограммы тогда будет только сочетание однородного и осесимметричного неоднородного (изменяющегося по радиусу от оптической оси) наклонов субъективного спекл-поля, соответствующего второй экспозиции, по отношению к спекл-полю первой экспозиции, как и в случае [9] двухэкспозиционной записи голограммы Фурье с помощью положительной линзы, когда фотопластинка на стадии записи голограммы находится в ее задней фокальной плоскости.

В качестве примера на рис. 7 представлена интерференционная картина, локализующаяся в плоскости голограммы Фурье и характеризующая поперечное перемещение рассеивателя на величину $a = (0,02 \pm 0,002)$ мм и продольное перемещение – $\Delta l = (0,5 \pm 0,002)$ мм. При этом ее регистрация выполнялась без проведения пространственной фильтрации дифракционного поля.

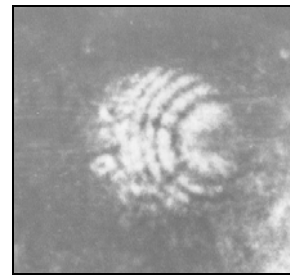


Рис. 7. Интерференционная картина, локализующаяся в плоскости голограммы Фурье и характеризующая поперечное и продольное перемещение диффузно рассеивающей свет плоской поверхности

Таким образом, результаты теоретического анализа формирования интерференционных картин, характеризующих поперечное или продольное перемещение диффузно рассеивающей свет плоской поверхности при двухэкспозиционной записи с помощью микроскопа коллимационного типа квази-Фурье-или Фурье-голограмм, и проведенные экспериментальные исследования показали следующее.

На стадии восстановления двухэкспозиционной квази-Фурье-голограммы интерференционные картины, характеризующие как поперечное, так и продольное перемещение рассеивателя, локализируются в плоскости голограммы и в Фурье-плоскости. При этом чувствительность интерферометра для интерференционной картины, локализующейся в Фурье-плоскости, где формируется изображение рассеивателя, зависит от величины радиуса кривизны сферической волны когерентного излучения, используемого для освещения диффузно рассеивающей свет плоской поверхности на стадии записи голограммы, и фокусного расстояния микроскопа. В свою очередь для интерференционной картины, локализующейся в плоскости голограммы, чувствительность

интерферометра зависит от фокусного расстояния микроскопа. Кроме того, в случае регистрации в плоскости локализации интерференционных картин, характеризующих поперечное перемещение рассеивателя, имеет место параллакс интерференционных полос из-за однородного смещения в плоскости голограммы составляющей субъективного спекла, соответствующего второй экспозиции. При этом явление параллакса отсутствует при регистрации интерференционных картин, характеризующих продольное перемещение рассеивателя.

Двухэкспозиционная запись с помощью микроскопа голограммы Фурье сопровождается на стадии ее восстановления образованием «замороженных» в плоскости голограммы интерференционных картин, регистрация которых выполняется без проведения пространственной фильтрации дифракционного поля.

1. Гусев В.Г. Формирование в диффузно рассеянных полях интерференционных картин при проведении пространственной фильтрации дифракционного поля двухэкспозиционной голограммы сфокусированного с помо-

щью телескопической системы Кеплера изображения рассеивателя // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20. № 4. С. 362–377.

2. Гудмен Д. Введение в Фурье-оптику. М.: Мир, 1970. 360 с.
3. Гусев В.Г. Пространственная фильтрация голографических интерферограмм бокового сдвига // Оптика и спектроскопия. 1994. Т. 77. № 5. С. 847–850.
4. Франсон М. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980. 165 с.
5. Гусев В.Г. Формирование голографических интерферограмм бокового сдвига в диффузно рассеянных полях для контроля телескопической оптической системы // Оптика атмосф. 1991. Т. 4. № 8. С. 787–795.
6. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970. 846 с.
7. Гусев В.Г. Пространственная фильтрация голографических интерферограмм бокового сдвига // Оптика и спектроскопия. 1990. Т. 69. Вып. 5. С. 1125–1128.
8. Джоунс Р., Уайкс К. Голографическая и спекл-интерферометрия. М.: Мир, 1986. 320 с.
9. Гусев В.Г. Формирование интерференционных картин при двухэкспозиционной записи квази-Фурье-голограмм и спеклограмм // Изв. вузов. Физ. 2006. № 2. С. 62–70.

V.G. Gusev. Formation of interferograms with diffusively scattered light by a double-exposed record of quasi-Fourier and Fourier holograms using a microscope.

Analysis of sensitivity of the holographic interferometer to transversal or longitudinal displacements of a plate surface diffusively scattering light is presented. It is shown that the interference patterns are located in the hologram plane and in far-zone diffraction. The spatial filtration of a diffractive field provides recording of the interference pattern. The experimental results are in a good agreement with theoretical arguments.