

# Голографическая сдвиговая интерферометрия при контроле клиновидных пластин

С. С. Ануфрик, А. И. Буть, А. М. Ляликов

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь;  
e-mail: an.but2012@yandex.by

Предложена методика повышения точности измерения клиновидности прозрачных пластин в голографической интерферометрии реверсивного сдвига. Приведены экспериментальные результаты апробации предложенной методики.

**Ключевые слова:** голографическая интерферометрия, повышение чувствительности измерений, интерферометр реверсивного сдвига, контроль клиновидности прозрачных пластин.

## Введение

Существующие интерференционные методы измерения клиновидности прозрачных пластин признаны наиболее точными и основаны на получении изображений пластины, промодулированных интерференционными полосами [1].

С целью снижения погрешности измерений угла клина ранее было предложено при формировании интерферограмм бокового сдвига сочетать разворот клиновидной пластины и поочередную настройку интерферограмм, ограниченных контуром пластины, на бесконечно широкую полосу [2]. Голографический вариант [3] данного способа позволил исключить аберрации оптической системы.

В данной работе предложен метод повышения чувствительности измерений при формировании пары безаберрационных интерференционных изображений клиновидных пластин в интерферометре реверсивного сдвига. Данный метод позволяет снизить относительную погрешность измерений за счет исключения систематической составляющей погрешности, вызванной аберрациями оптической части прибора [4], а также увеличения количества интерференционных полос в формируемых интерферограммах клиновидной пластины.

## 1. Описание методики

На первом этапе реализации методики в интерферометре реверсивного сдвига рисунок 1,а на носителе 9 записываются амплитудные голограммы исследуемой клиновидной пластины установленной в положение 5.

Реверсивный сдвиг осуществляется в интерферометре 8 (рис. 1, а) таким образом, что волновой фронт одного из световых пучков зеркально разворачивается относительно оси  $y$  с изменением направления только оси  $x$  на противоположное.

Если выполнены линейные условия записи голограмм, то коэффициенты амплитудных пропусканий соответственно правой (квадранты I и IV) и левой (квадранты II и III) голограмм примут вид:

$$\tau_r(x, y) \sim 1 + \cos \{ 2\pi\xi_0 x + 2\pi\eta_0 y + \varepsilon_0(x, y) - \varepsilon_0(-x, y) + \varepsilon_1(x, y) - \varepsilon_2(x, y) \}, \quad (1)$$

$$\tau_l(x, y) \sim 1 + \cos \{ 2\pi\xi_0 x - 2\pi\eta_0 y + \varepsilon_0(x, y) - \varepsilon_0(-x, y) + \varepsilon_1(x, y) - \varepsilon_2(x, y) \}. \quad (2)$$

где  $\xi_0$  – определяет пространственную частоту волны, причем  $\xi_0 = \frac{\cos \alpha_0}{\lambda}$ ,  $\lambda$  – длина волны,  $\phi(x, y)$  – изменение фазы волны при прохождении клиновидной пластины

оптического элемента,  $\varepsilon_0$  – искажения фазы абберациями объектной ветви оптической системы,  $\varepsilon_1(x, y)$  и  $\varepsilon_2(x, y)$  – искажения фаз абберациями первой и второй ветвей интерферометра реверсивного сдвига (рис. 1, б).

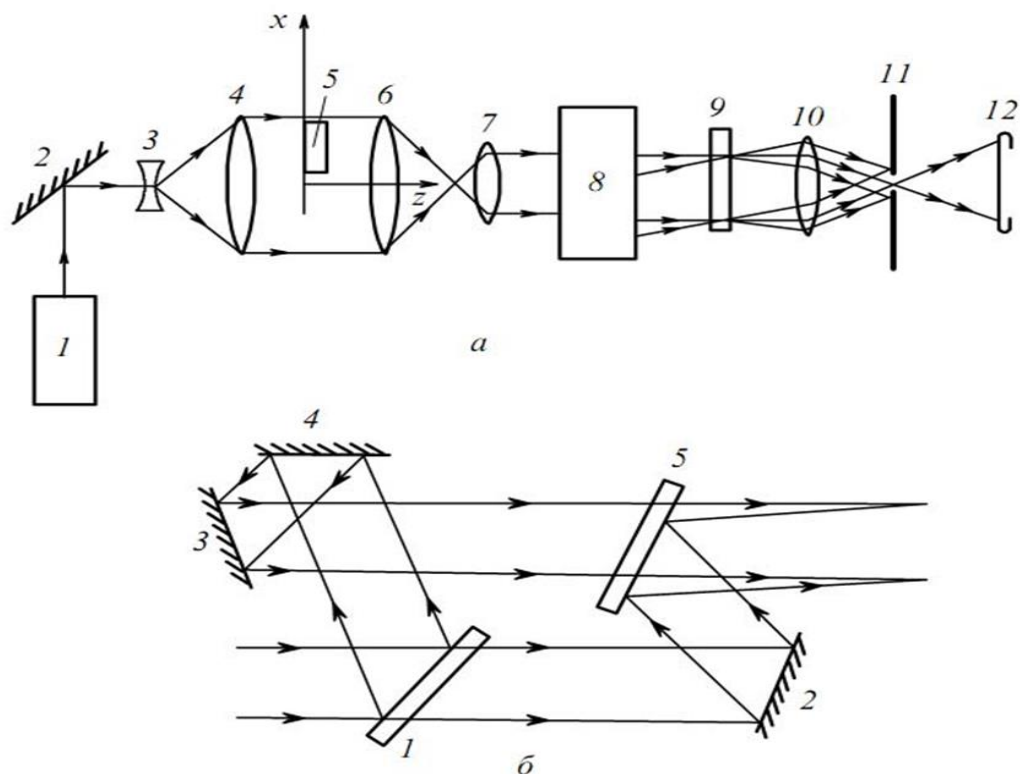


Рис.1. – Схема установки для формирования интерферограмм реверсивного сдвига повышенной чувствительности измерений. (а) 1 – гелий-неоновый лазера, 2 – зеркало, 3, 4 – телескопическая система, 6, 7 – телескопическая система, 5 – исследуемая клиновидная пластина, 8 – двухлучевой интерферометр реверсивного сдвига, 9 – плоскость регистрации голограмм, 10 – объектив, 11 – пространственный фильтр, 12 – плоскость наблюдения (регистрации) интерференционных картин; (б) интерферометр реверсивного сдвига: 1, 5 – светоделители, 2, 3, 4 – зеркала.

Угол  $\alpha_\omega$  отклонения светового пучка клиновидной пластиной оптического элемента определяется углом клина  $\gamma$  и показателем преломления  $n$  материала пластины известным [5] соотношением  $\alpha_\omega \approx \gamma(n-1)$ . При строгой ориентации ребра клина параллельно оси  $x$  изменение фазы волны при прохождении клиновидной пластины может быть представлено в виде

$$\phi(x, y) = 2\pi\eta_\omega y, \quad (3)$$

где  $\eta_\omega = \frac{\alpha_\omega}{\lambda}$ .

Таким образом, на носителе 9 записывается пара амплитудных голограмм клиновидной пластины (левая (1) и правая (2)), расположенных симметрично оси  $y$ .

Такая особенность расположения объекта и соответственно его контуров в интерферирующих волнах, позволяет описывать отдельно левую и правую интерферограммы. В этом случае можно рассматривать независимые правую (квадранты

I и IV в системе координат) и левую (квадранты II и III) голограммы клиновидной пластины, записанные на общем носителе 9 (рис. 1, а).

После химической обработки носитель голограмм устанавливается в прежнее место, а клиновидная пластина 9 разворачивается на  $180^\circ$  относительно нормали к ее поверхности. На следующем этапе в реальном времени формируют пару картин интерференции и за счет перенастройки полос в картинах повышают чувствительность способа.

Распределение освещенности в интерференционной картине в плоскости 12 рис. 1, а при настройке на бесконечно широкую полосу для квадрантов I и IV,

$$I_r(x, y) = \begin{cases} b_0^2 + b_1^2 + 2b_0b_1, & \text{для квадрантов I и IV,} \\ b_0^2 + b_1^2 + 2b_0b_1 \cos(8\pi\eta_\omega y), & \text{для квадрантов II и III.} \end{cases} \quad (4)$$

где  $b_0, b_1$  - действительные амплитуды волн, дифрагированных на голограммах в нулевой и первый порядки.

При настройке на бесконечно широкую полосу для квадрантов II и III распределение освещенности в интерференционной картине в плоскости 12 рис.1,а будет иметь вид

$$I_l(x, y) = \begin{cases} b_0^2 + b_1^2 + 2b_0b_1 \cos(8\pi\eta_\omega y), & \text{для квадрантов I и IV,} \\ b_0^2 + b_1^2 + 2b_0b_1, & \text{для квадрантов II и III.} \end{cases} \quad (5)$$

Из выражения (4) и (5) следует, что при достижении в одной из интерферограмм бесконечно широкой полосы, количество полос в другой будет удваиваться по сравнению с первоначальной интерференционной картиной, также aberrации схемы записи исключены.

## 2. Эксперимент

На рис. 2 представлены интерференционные картины клиновидной пластины, восстановленные по предложенной методике.

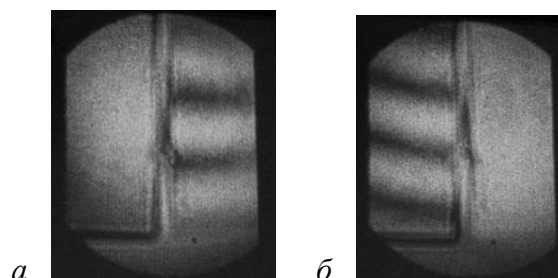


Рис. 2. – Интерференционные картины клиновидной пластины при поочередной настройке левой (а) и правой (б) интерферограмм на полосы бесконечной.

Экспериментальная апробация показала, что независимо от способа определения периодов  $P_l$  и  $P_r$ , предложенная методика позволяет снизить относительную погрешность измерений в четыре раза.

### **Заключение**

Показано, что за счет последовательной обработки пары интерферограмм с удвоенным количеством интерференционных полос достигается уменьшение погрешности измерений в два раза по сравнению с традиционными интерферометрическими методами.

Следует отметить, что в качестве оптической схемы установки для записи голограмм пластин может быть успешно использован любой классический двухлучевой или лазерный интерферометр с узким опорным пучком.

Для извлечения информации о величине угла клина может быть использован достаточно широкий спектр известных алгоритмов цифровой обработки интерферограмм ширины.

### **Литература**

1. Оптические измерения: учебник для вузов; под общ. ред. Д. Т. Пуряева. М., 1987.
2. Ляликов А. М. Уменьшение погрешности измерений клиновидности пластин в сдвиговой интерферометрии. Письма в Журнал технической физики. 2010. Т. 36, № 20. С. 87–94.
3. Буть А. И., Ляликов А. М. Повышение точности интерферометрического измерения клиновидности пластин. Оптика и спектроскопия. 2010. Т. 109, № 4. С. 696–701.
4. Буть А. И., Ляликов А. М. Повышение чувствительности измерений при формировании сдвиговых интерферограмм прозрачных пластин малой остаточной клиновидности. Квантовая электроника. 2011. Т. 41. № 10. С. 934–938.
5. Лявшук И. А., Ляликов А. М. Двухэкспозиционная голографическая интерферометрия с записью серии наложенных голограмм в одной регистрирующей среде. Квантовая электроника. 2006. Т. 36. № 2. С. 154–158.

### **Holographic shear interferometry in the control of wedge-shaped plates**

S.S. Anufrik., A.I. Buts, A.M. Lyalikov

*Yanka Kupala Grodno State University, Belarus;  
e-mail: an.but2012@yandex.by*

A technique for improving the accuracy of measuring the wedge-shapedness of transparent plates in holographic interferometry of reversible shear is proposed.

The introduced method is implemented in several stages. At the first stage, it is proposed to record amplitude holograms of the wedge-shaped plate on a carrier, for example, a photographic plate, using a reversible shift interferometer. After chemical treatment, the carrier of the holograms is installed in its original place, and the investigated wedge-shaped plate is turned  $180^\circ$  relatively to the normal of its surface. At the last stage, a pair of interference patterns is formed in real time, and by reconfiguring the interference fringes in the patterns, the sensitivity of the method is quadrupled.

Experimental results of approbation of the proposed technique are given. The results obtained can be used to control the quality of diffractive elements of small transverse dimensions used in optoelectronics and photonics.

**Keywords:** holographic interferometry, increased sensitivity of measurements, interferometer of reversible shift, control of wedge-shaped transparent plates.