

О ПОВЫШЕНИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ  
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Л. Т. Мустафина и Н. П. Кутикова

Показана возможность использования интерферометров сдвига для одновременной регистрации голограмм с симметричной ориентацией опорных пучков и повышения чувствительности интерференционных измерений.

Рассмотрен способ дополнительного увеличения чувствительности интерференционных измерений, в котором в качестве восстанавливающей используется волна, восстановленная с этой же голограммы, но получившая сдвиг фазы на  $\pi$ . Приведены экспериментальные данные, подтверждающие возможность повышения чувствительности измерений более чем на порядок, при незначительном ухудшении качества интерференционных полос.

Наиболее распространенный способ повышения чувствительности интерференционных измерений основан на использовании волн, восстановленных с голограммы в высших порядках дифракции [1]. Однако реализация этого способа связана с необходимостью регистрации голограмм с заданной формой рельефа, обеспечивающей концентрацию энергии в высоких порядках дифракции, что само по себе является достаточно сложной задачей.

Известны приемы, позволяющие повышать чувствительность интерференционных измерений при использовании линейно зарегистрированных голограмм. Так, например, многократным пересечением голограмм, образующихся при интерференции комплексно-сопряженных волн первых порядков дифракции, автору работы [2] удалось повысить чувствительность интерференционных измерений более чем на порядок.

Определенный интерес представляет также способ, в котором используются две объектные голограммы, полученные при симметричной ориентации опорных пучков относительно объектного. Если такие голограммы установить в сопряженные плоскости голограммного анализатора [3], то в наблюдаемых интерференционных картинах, образованных взаимодействием комплексно-сопряженных волн, изгиб интерференционных полос в зоне объекта будет в  $4n$  ( $n$  — порядок дифракции) раз больше, чем в соответствующих областях интерференционной картины, полученной без использования приемов, повышающих чувствительность измерений. Основные трудности при реализации данного способа заключаются в регистрации двух объектных голограмм с различной ориентацией опорных пучков. В случае стационарных объектов они могут быть получены последовательно одна за другой. Изучение быстротекущих процессов требует одновременной записи голограмм.

В настоящей работе рассматриваются способы повышения чувствительности голографической интерферометрии применительно к быстротекущим процессам. Один из способов заключается в использовании интерферометров сдвига для одновременной записи объектных голограмм с различной ориентацией опорных пучков.

Предположим, что  $\varphi(x)$  — фазовые искажения, вносимые объектом, а интерференционная картина образуется при поперечном сдвиге  $s$  и повороте одного из световых пучков на угол относительно нормали к плоскости регистрации интерферограммы. Предположим также, что величина  $s$  удовлетворяет условию, при котором взаимодействуют деформированный объектом и недеформированный участки волновых фронтов, т. е. осуществлен полный сдвиг и можно вы-



делить две зоны. Распределение интенсивности в плоскости интерферограммы в зоне, где взаимодействуют невозмущенный волновой фронт и волновой фронт с фазой  $\varphi(x)$ , развернутой на угол  $\alpha$ , будет иметь вид

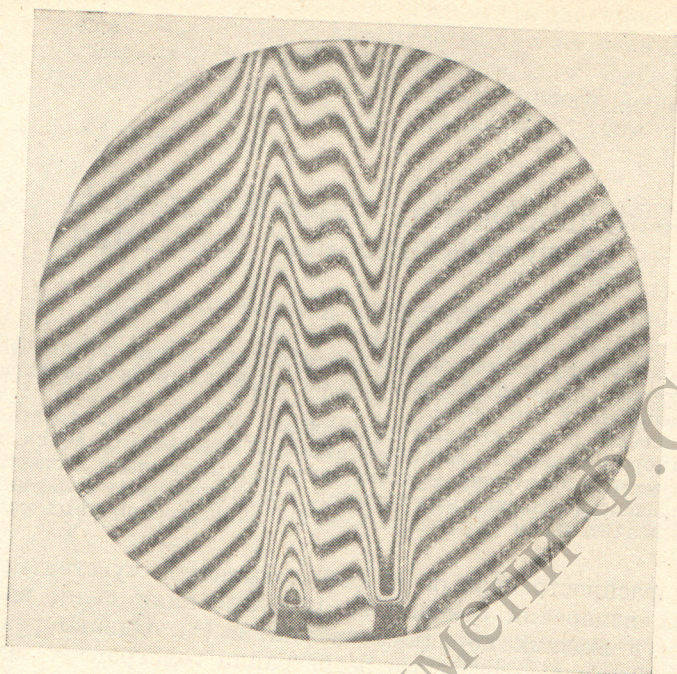


Рис. 1. Интерферограмма сдвига.  
Поляризационный интерферометр, полный сдвиг.

$$I_1(x) = 2 + 2 \cos [\varphi(x) + kx \sin \alpha],$$

(1)

где  $k = 2\pi/\lambda$  — волновое число,  $\lambda$  — длина волны используемого источника света. Во второй зоне интерферограммы сдвига волновой фронт с фазовыми искажениями  $\varphi(x+s)$ , совпадающий с плоскостью регистрации интерферограммы

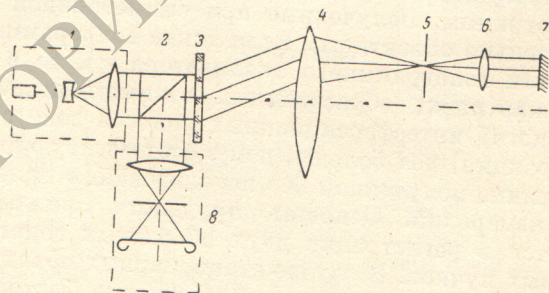


Рис. 2. Оптическая схема автоколлимационного голограммного анализатора.

1 — осветительная система, 2 — куб-призма, 3 — объектная голограмма, 4 — фокусирующий объектив, 5 — пространственный фильтр, 6 — коллимирующий объектив, 7 — автоколлимационное зеркало (установлено в плоскости, сопряженной с плоскостью голограммы), 8 — приемная система.

взаимодействует с невозмущенным волновым фронтом, повернутым на угол  $\alpha$  относительно плоскости регистрации. В этой зоне распределение интенсивности в точке, соответствующей точке  $x$  первой зоны, запишется

$$I_2(x+s) = 2 + 2 \cos [\varphi(x+s) - k(x+s) \sin \alpha].$$

(2)

Очевидно, что выражения (1) и (2) фактически описывают распределение интенсивности объектных голограмм с симметричной ориентацией опорных пуч-



ков, так как при полном сдвиге  $\varphi(x+s) = \varphi(x)$ . На рис. 1 приведена интерферограмма сдвига, полученная на поляризационном интерферометре [4], которая подтверждает правильность проведенных рассуждений. При переходе интерференционной полосы из одной зоны возмущения в другую знак интерференции меняется на обратный. Аналогичная картина наблюдается в зеркальных интерферометрах сдвига [5].

Особо следует остановиться на возможности использования дифракционного интерферометра сдвига [5]. Если величина сдвига такова, что наблюдается взаимодействие деформированных участков волновых фронтов  $\pm 1$ -х порядков дифракции с невозмущенной волной нулевого порядка, то распределение интенсивностей в выбранных зонах соответствует (1) и (2). При этом в центре наблюдаемого поля образуется еще и трехлучевая картина.

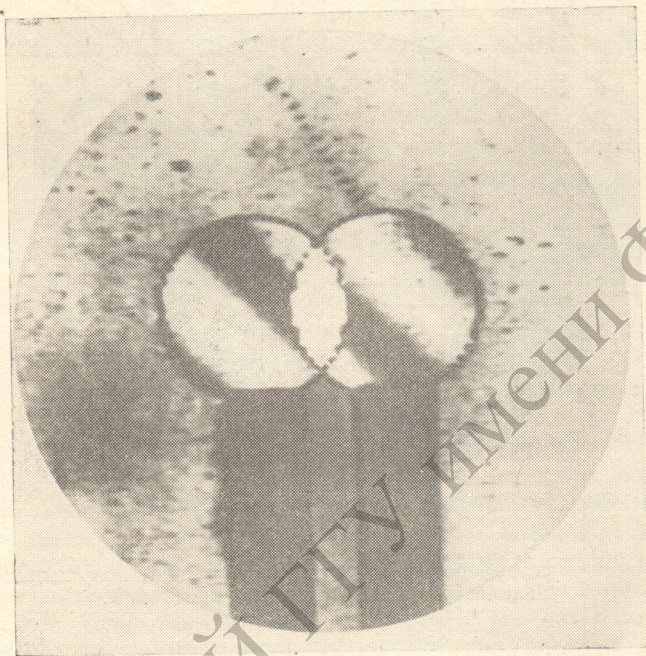


Рис. 3. Голографическая интерферограмма сдвига.

Объект — оптический десятисекундный клин.

В интерферометрах всех трех рассмотренных типов максимальная величина сдвига, удовлетворяющая условиям (1), (2), не должна превышать трети диаметра наблюдаемого поля. Этой же величиной ограничиваются поперечные размеры исследуемого объекта. При больших размерах объекта полный сдвиг с образованием двух голограмм можно осуществить только на дифракционном интерферометре, если объект смещен с центра и занимает одну из половин поля визуализации. Однако при такой настройке интерференционная картина образуется при попарном взаимодействии дифрагированной деформированной волны, повернутой на угол  $\alpha$  с невозмущенной волной нулевого порядка, и невозмущенной дифрагированной волны, повернутой на угол  $-\alpha$  с деформированной волной нулевого порядка дифракции. Нетрудно показать, что в этом случае интерференционные картины выбранных зон будут идентичны.

Возможен вариант повышения чувствительности интерференционных измерений при использовании только одной объектной голограммы. Предположим, что восстановленный с объектной голограммы волновой фронт возвращен в плоскость голограммы в обратном направлении с помощью автоколлимационной зеркально линзовой системы (рис. 2). При этом он приобретает дополнительную фазу  $\pi$ . Если теперь этот волновой фронт использовать в качестве восстанавливающего, то восстановленная в обратном ходе волна будет иметь удвоенные



фазовые искажения по отношению к фазе первоначально восстановленной волны. Интерференционная картина при взаимодействии комплексно-сопряженных волн будет обладать той же чувствительностью, что и в случае двух объектных голограмм. На рис. 3 приведена голографическая интерферограмма десятисекундного клина, полученная без повышения чувствительности. Используя способ фазового сдвига удалось повысить чувствительность интерференционных измерений в 12 раз (рис. 4) без заметного ухудшения контраста полос. Обе



Рис. 4. Голографическая интерферограмма оптического клина, полученная при 12-кратном увеличении чувствительности измерений.

голограммы были получены на поляризационном интерферометре при разных величинах сдвига. Наличие интерференционных полос в невозмущенной области свидетельствует о влиянии аберрации оптических систем регистрации голограммы и восстановления волновых фронтов.

Отметим, что, применяя способ фазового сдвига, вместе с повышением чувствительности интерференционных измерений можно также произвольным образом менять настройку интерференционных полос, и повышать чувствительность цветных теневых картин.

В заключение приносим благодарность В. А. Комиссаруку за предоставленные интерферограмму сдвига (рис. 1) и голограммы, а также А. К. Бекетовой за ценные советы при обсуждении работы.

#### Литература

- [1] O. Bryngdahl, A. W. Lohmann. J. Opt. Soc. Am., 58, 141, 1968.
- [2] И. С. Зейликович. Опт. и спектр., 49, 396, 1980.
- [3] Н. М. Спорник, А. Ф. Белозеров, А. И. Бывальцев. Авт. свид. № 396540. Оpubл. в Бюлл., № 36, 1973.
- [4] В. А. Комиссарук, П. И. Ковалев, В. П. Мартынов. ЖТФ, 48, 1457, 1978.
- [5] В. А. Комиссарук. В кн.: Оптические методы исследований в баллистическом эксперименте, 32. Наука, Л., 1979.

Поступило в Редакцию 20 октября 1981 г.