

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В БОЛЬШИХ ПОЛЯХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Л. Т. Мустафина, А. Я. Смоляк и А. К. Бекетова

Кратко рассмотрены принципиальные особенности голографических методов: двойного экспонирования и переноса фазовых искажений, вносимых объектом, на опорный пучок. Приведены экспериментальные результаты исследования прозрачных неоднородностей на установке с использованием крупногабаритного сферического зеркала пониженного качества.

Необходимость увеличения размеров исследуемого поля в современном оптико-физическом эксперименте требует дальнейшего совершенствования систем визуализации и количественной оценки неоднородности. Одним из возможных направлений решения этой проблемы является создание теневых и интерференционных приборов на базе крупногабаритных сферических зеркал пониженного качества и небольшой стоимости. Применение таких элементов в оптических системах приводит к заметному ухудшению изображения картины исследуемого поля. Однако в настоящее время известны голографические методы визуализации оптических неоднородностей, которые в принципе позволяют исключить дефекты оптической системы. Так, с помощью метода двойного экспонирования, освещенного в ряде работ [1-3], получены хорошие результаты в аэродинамических и баллистических исследованиях [4, 5], а голографический метод переноса фазовых искажений, вносимых объектом, на опорный пучок использовался для исследования неоднородностей теньвым методом [6].

Суть метода двойного экспонирования состоит в некогерентном наложении двух голограмм: одной без неоднородности, другой с исследуемой неоднородностью. При этом суммарное распределение интенсивности двух восстановленных волновых фронтов одного направления представляется в виде

$$I(x, y) = 2f^2(x, y) a^2(x, y) b^2(x, y) \cos \varphi_u + 2f^2(x, y) b^2(x, y) a^2(x, y), \quad (1)$$

где $f(x, y)$, $a(x, y)$ и $b(x, y)$ — модули амплитуд опорного, сигнального и восстанавливающего пучков соответственно; $\varphi_u(x, y)$ — фазовая характеристика исследуемого объекта.

Таким образом, при восстановлении получается интерференционная картина, характеризующая только исследуемую неоднородность.

Если же на голограмме записывается когерентное наложение опорного и сигнального фронтов, а восстановление осуществляется сигнальным пучком, то распределение амплитуды одного из пучков за голограммой может быть записано как

$$U(x, y) = f(x, y) a^2(x, y) \exp i [\varphi_u(x, y) + \varphi_0(x, y)], \quad (2)$$

где $\varphi_0(x, y)$ — фазовая характеристика опорного пучка.

Из выражения (2) видно, что фазовые искажения сигнального волнового фронта, которые имели место как при записи голограммы, так и при вос-

становлении (например, вызванные дефектами оптических элементов, формирующих сигнальный пучок), не восстанавливаются. Опорный фронт, на который переносятся фазовые искажения, вносимые объектом, предполагается высокого качества. В зависимости от особенности исследуемого процесса неоднородность может вводиться в сигнальный пучок при записи голограммы или при восстановлении, в последнем случае экспериментатор получает возможность наблюдения процесса в реальном масштабе времени. В данной работе была осуществлена экспериментальная проверка приведенных выше положений на установке с исследуемым полем $\varnothing 400$ мм при использовании вогнутого сферического зеркала ($\varnothing 500$ мм, $R=2992$ мм), изготовленного методом копирования по слою полиэфирной смолы на металлической подложке [7].

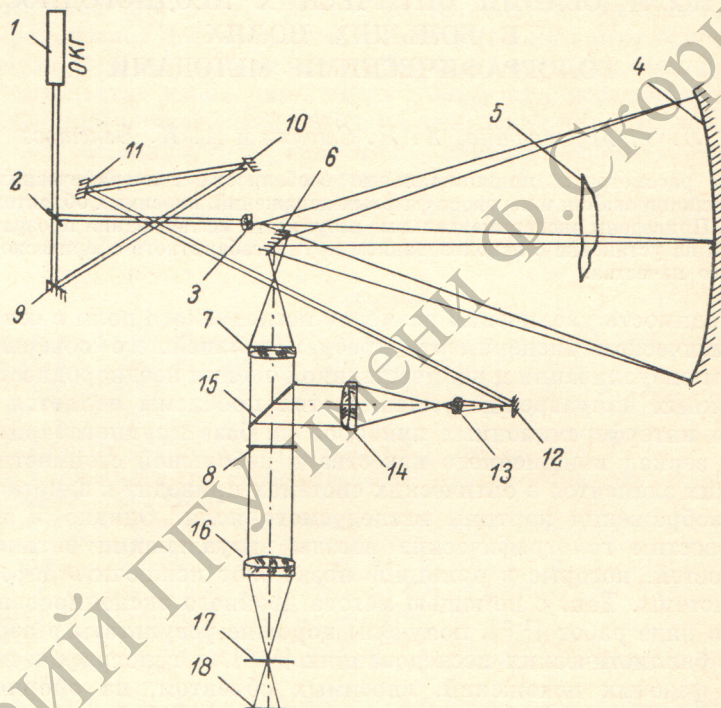


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема установки.

Оптическая схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Световой пучок от источника света 1 (использовался лазер ЛГ-36 в одномодовом режиме) направляется на светоделительную пластину 2. Сигнальный световой пучок после микрообъектива 3 (8×0.20) отражается от вогнутого сферического зеркала 4, при этом дважды проходит через рабочую зону 5, затем отражается от зеркала 6, коллимируется объективом 7 (использовался фотообъектив «ИНДУСТАР-51» 4.5/240) и направляется в плоскость фотопластинки 8. Опорный пучок, расширенный микрообъективом 13 (40×0.65), коллимируется объективом 14 (фотообъектив «ЮПИТЕР-3»; 1.5/50) и после отражения от полупрозрачного зеркала 15 также направляется на фотопластинку. Система зеркал 9, 10, 11, 12, снабженных необходимыми подвижками, обеспечивает выравнивание оптических путей опорного и сигнального пучков с точностью 5—10 см. Голограмма записывалась на фотопластинку «МИКРАТ ВР-Л» с несущей частотой 100—150 лин./мм. В качестве исследуемой неоднородности использовалось пламя спиртовки.

При исследовании поля неоднородности методом переноса фазовых искажений, вносимых объектом, на опорный пучок записывались волновые фронты сигнального и опорного пучков. Восстановление проводилось сигнальным пучком при введенной неоднородности. Восстановленный

волновой фронт фокусировался с помощью объектива 16 («ЮПИТЕР-11М») в плоскость 17, где была установлена визуализирующая диафрагма. Теневая картина неоднородности наблюдалась в плоскости 18 и фиксировалась на фотошленку. Теневая картина пламени спиртовки, полученная этим методом, приведена на рис. 2. (На этом и последующих рисунках видны державки моделей вакуумной камеры, которая была установлена в рабочей зоне, но в данных экспериментах не использовалась). Некоторая неравномерность освещенности по полю объясняется дефектами опорного пучка.

Восстановленная картина интерференционных полос настройки (рис. 3, а), полученная методом двойного экспонирования, показывает, что интерференционные полосы прямые, следовательно, ошибки поверхностей зеркала и других



Рис. 2. Теневая картина пламени спиртовки, восстановленная с голограммы (визуализирующая диафрагма \varnothing 1 мм).

элементов системы исключены. Правда, частичное рассеяние света на грубых местных дефектах поверхности «упрощенного» зеркала (царапины, точки и т. д.) несколько ухудшает вид картины, но почти не уменьшает ее рабочих достоинств. Представленная на рис. 3, б интерферограмма пламени спиртовки, полученная методом двойного экспонирования, вполне пригодна для расшивки.

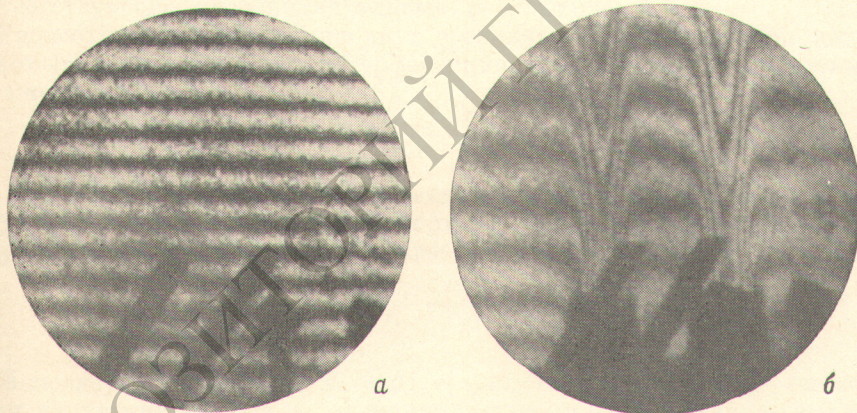


Рис. 3. Интерферограмма полос настройки (а) и интерферограмма пламени спиртовки (б), полученные методом двойного экспонирования.

Приведенные экспериментальные результаты подтверждают возможность получения удовлетворительных по качеству теневых и интерференционных картин на установке с крупногабаритным зеркалом, изготовленным методом копирования. Это показывает перспективность и экономическую целесообразность систем визуализации, выполненных на основе крупногабаритных оптических элементов пониженного качества при условии применения голографических методов.

Литература

- [1] L. H. Tanner. J. Sci. Instr., 43, 81, 1966.
- [2] R. E. Brooks, L. O. Heflinger, R. F. Wuerker. Appl. Phys. Lett., 7, 248, 1965.
- [3] К. С. Мустафин, В. А. Селезнев, Е. И. Штырков. Опт. и спектр., 22, 319, 1967.
- [4] А. Ф. Белозеров, В. Т. Черных. Опт. и спектр., 28, 1022, 1970.
- [5] R. E. Brooks, L. O. Heflinger, R. F. Wuerker. IEEE J. Quantum Electron, QE-2, 275, 1966.
- [6] Т. Тадао, I. Yoshinobu. Japan. J. Appl. Phys., 8, 96, 1969.
- [7] Н. Бейнарович, О. К. Шушкова, Э. А. Салимова, В. П. Мартынов, Авторское свидетельство, № 291889.

Поступило в Редакцию 5 апреля 1974 г.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. СКОРИНЫ