

07;12

Голографический интерферометр-коррелятор, работающий в режиме реального времени

© В.А. Бабенко, С.Б. Гуревич, В.Б. Константинов,
В.М. Левушкин, А.Ф. Малый

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: V.Konstantinov@mail.ioffe.ru, babenko@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 24 января 2003 г.

Для анализа в режиме реального времени изменений, происходящих в исследуемом прозрачном в оптическом диапазоне объекте, предлагается использовать голографический интерферометр-коррелятор. Применение методов голографической интерферометрии в сочетании с определением корреляционной функции позволяет повысить качество визуализации фазовых неоднородностей прозрачных объектов.

Для определения изменения состояния трехмерных объектов в ряде случаев необходимо не только знать распределение показателя преломления, но и интегрально оценивать изменения в объекте в текущий момент времени по сравнению с начальным. При освещении голограммы опорной волной мы получаем восстановление объектной волны, а при освещении голограммы объектной волной — восстановление опорной волны. Если в объектной волне произошли какие-то изменения, то интенсивность восстановленной опорной волны уменьшается до нуля — тогда полностью исчезнет корреляция между исходной объектной волной и освещающей голограмму объектной волной при восстановлении [1,2].

На базе созданных ранее [3–6] компактных голографических интерференционных приборов смонтирован коррелятор-интерферометр для наблюдения фазовых объектов в реальном времени. Принцип действия прибора основан на двухпучковой записи голограммы начального состояния и двухпучкового восстановления волнового фронта с голограммы неизменным опорным пучком и изменяющимся объектным пучком, отражающим изменение состояния исследуемой среды. При

этом на выходе регистрируются как разности интерференционных картин начального и текущего состояния (по изображению, восстановленному опорным пучком), так и корреляционная функция, отражающая интегральное изменение начального и конечного состояния по картине, восстановленной объектным пучком, фиксирующим измененное состояние.

Плоская опорная волна попадает в плоскость голограммы с углом падения θ . Использование направления вокруг этого угла и направления $\theta = 0$ (перпендикулярном плоскости голограммы) при восстановлении волнового фронта опорной и сигнальной волной измененного фазового объекта позволяет получить в реальном времени как интерференционную картину, так и корреляционную функцию изменения распределения фаз в объекте [7].

Начальное и измененное состояния среды записываются и рассматриваются на просвет при прохождении объектного пучка через слой среды. Наблюдение производится с помощью телевизионной камеры, сигнал от которой поступает на осциллограф с выделением строки. Были проведены две серии экспериментов.

В первом случае во времени изменяется температурное распределение среды. Соответствующие изменения показателя преломления при пропускании измененного объектного пучка с наложением на его изображение восстановленного с голограммы начального состояния среды дают картину изменения пространственного распределения температур в каждый заданный момент времени. Одновременно измененный объектный пучок восстановит с голограммы измененную форму сфокусированного опорного пучка, представляющую собой корреляционную функцию, отражающую интегральное изменение нового состояния объекта относительно начального. На рис. 1 показана картина интерференционных полос, возникающая при нагревании воды в кювете.

Во втором эксперименте по корреляционной функции определялась величина изменения скорости протекания жидкости через среду. Если записать голограмму начального состояния жидкости, движущейся с заданной скоростью, то при сохранении этой скорости восстановленное объектным пучком изображение в фокальной плоскости даст точку, соответствующую корреляционной функции в форме δ -функции. При изменении скорости протекания жидкости вместо δ -функции появится распределение, по которому можно определить разность скоростей начального и измененного состояний.

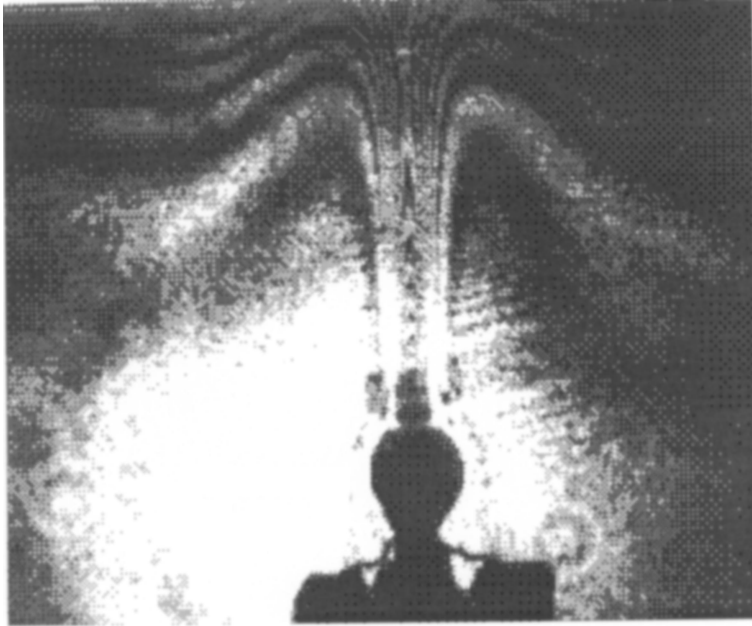


Рис. 1. Интерферограмма потока нагреваемой жидкости в кювете.

Установка размером $530 \times 220 \times 130$ mm и весом около 6 kg включает в себя: гелий-неоновый лазер с длиной волны $0.63 \mu\text{m}$ и мощностью 1 mW, оптические элементы, источник питания, регистратор голограмм, кювету с жидкостью с включаемым и отключаемым подогревом (в первом эксперименте), устройство, позволяющее изменять скорость протекания жидкости через кювету (во втором эксперименте). Для записи голограммы начального состояния применялись фотопластинки ПФГ-05 и фототермопластические пластины (ФТПН). Удобство использования последнего материала определяется сухим самопроявлением на месте. Максимальный размер голограммы 60×60 mm, максимальный размер объекта исследования $40 \times 40 \times 100$ mm. Внешний вид голографической камеры показан на рис. 2. Все получаемые из эксперимента данные могут быть обработаны и проанализированы на компьютере по специальной программе [8].

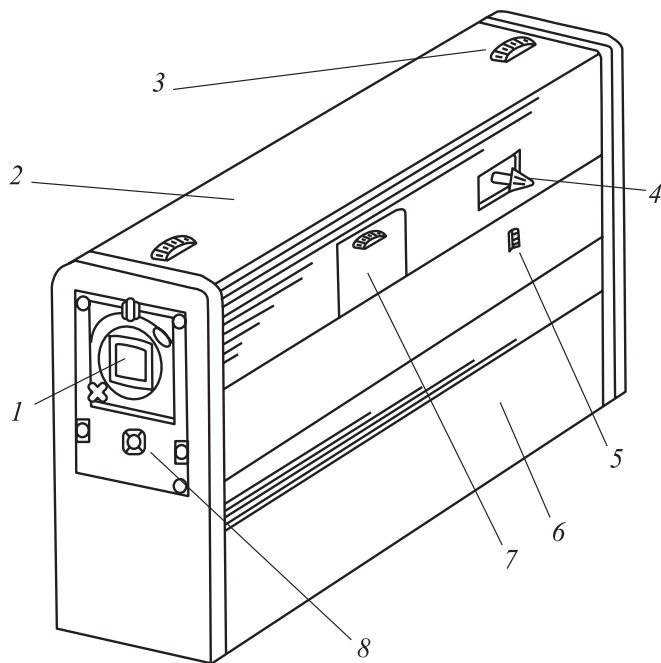


Рис. 2. Внешний вид голографического коррелятора-интерферометра: 1 — смотровое окно, 2 — верхняя съемная панель, 3 — кнопки фиксации верхней панели, 4 — несущая, 5 — затвор, 6 — нижняя съемная панель, 7 — окно для тест-объекта, 8 — разъем CCD камеры.

Оптическая схема голографического интерферометра-коррелятора показана на рис. 3. Световой пучок от лазера 1 отражается зеркалом 2 и проходит через светоделитель 3. Линза 6 формирует опорный пучок. Объектный пучок формируется коллиматором 9. Матовое стекло 11 служит для визуализации интерференционных полос. Объектный и опорный пучки формируют интерференционную картину в плоскости регистратора 12. С помощью телекамеры 14 ведется визуальное наблюдение. Интенсивность опорного источника фиксируется фотоприемником 15. Затворы 4,7 служат для попеременного перекрытия объектного и опорного пучков при наблюдении восстановленной картины.

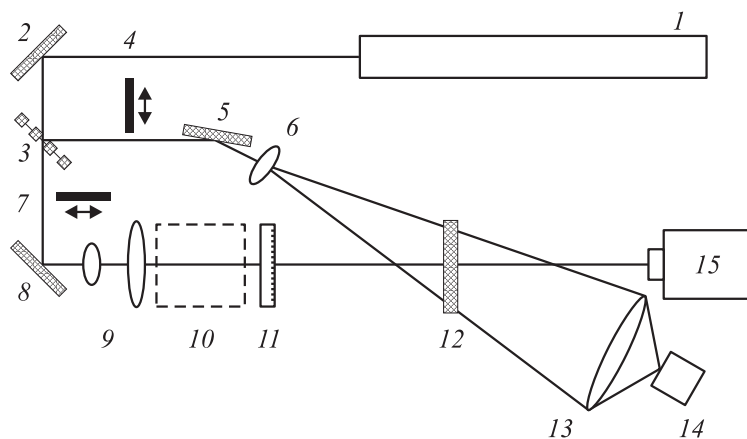


Рис. 3. Оптическая схема голографического интерферометра-коррелятора: 1 — лазер, 2, 5, 8 — зеркала, 3 — светоделитель, 4, 7 — затворы, 6 — микролинза, 9 — коллиматор, 10 — объект, 11 — рассеиватель, 12 — регистратор, 13 — линза, 14 — телекамера, 15 — фотоприемник.

Представленный голографический коррелятор-интерферометр позволяет в реальном времени определять пространственные изменения среды и общие изменения, произошедшие во всей среде при проведении различных физических и физико-химических экспериментов. Также представляется возможным использовать описанную установку и для исследования оптических неоднородностей фазовых объектов.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 00-15-96771 и 02-02-17689а.

Список литературы

- [1] Gurevich S.B., Konstantinov V.B., Relin V.F., Babenko V.A. // Proc. of SPIE. 1997. V. 3402. P. 344–347.
- [2] Некрасов В.В. // Опт. журнал. 1995. № 5. С. 72–74.
- [3] Babenko V.A., Konstantinova E.V., Konstantinov V.B. // Proc. of SPIE. 1995. V. 2329. P. 379–381.

- [4] Бабенко В.А., Гребеновская Л.Ф., Константинова Е.В., Константинов В.Б., Левушкин В.М. // Приборы и тех. эксперимента. 1999. № 1. С. 159–160.
- [5] Бабенко В.А., Гребеновская Л.Ф., Константинова Е.В., Константинов В.Б., Левушкин В.М. // Тез. докл. Междунар. конф. молодых ученых и специалистов „Оптика-99“. СПб., 19–21 окт. 1999. С. 204.
- [6] Бабенко В.А., Константинов В.Б., Левушкин В.М. // Науч. приборостроение. 2000. Т. 10. № 1. С. 97–99.
- [7] Gurevich S.B., Konstantinov V.B., Relin V.F., Babenko V.A. // Proc. of SPIE. 1997. V. 3238. P. 16–19.
- [8] Батькович В.В., Буденкова О.Н., Константинов В.Б., Садов О.Л., Смирнова Е.А. // ЖТФ. 1999. Т. 69. В. 6. С. 106–111.