

УДК 681.787.7

© В. А. Бабенко

## ВОЗМОЖНОСТЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФАЗОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ОБЪЕМЕ

Представлен голографический интерферометр, просвечивающий объект в двух взаимно перпендикулярных направлениях для визуализации фазовых объемных объектов.

*Кл. сл.:* интерферометрия, фазовые объемные среды

### ВВЕДЕНИЕ

Визуализация и количественный анализ оптических неоднородностей методами голографической интерферометрии основаны на внесении объектом в световую волну изменения фазы и амплитуды, проявляющиеся в интерференционной картине. Амплитудные изменения приводят к изменению контраста интерференционных полос, а фазовые изменяют их форму и взаимное расположение. В режиме голографической интерферометрии информация об исследуемом процессе извлекается из интерферограмм, являющихся результатом сложения двух когерентных световых волн — волны, восстановленной с голограммы начального состояния объекта, и волны, идущей от объекта в момент наблюдения или регистрации. Измеряемым параметром является изменение показателя преломления среды, зависящее от температуры, давления, концентрации и состава.

Голографическая интерферометрия давно используется для решения научных и прикладных задач [1–3], однако устройства для исследования фазовых объектов не имеют аппаратной реализации. Так, в Институте механики сплошных сред УрО РАН разработан малогабаритный интерферометр "Физо" для исследования процессов теплообмена в жидкостях. В Институте физики прочности и материаловедения СО РАН разработан автоматизированный телевизионный лазерный комплекс. В Сибирской государственной геодезической академии разработан малогабаритный фазовый интерферометр высокой помехоустойчивости для измерения малых возмущений. Республиканский центр трансфера технологий, Минск, представляет комплекс методик "Высокочувствительная интерференционно-муаровая дефектоскопия" и предлагает методики создания аппаратуры. В литературе описана портативная голографическая камера с фоторефрактивным кристаллом [4]. Широко представлены мобильные портретные голографические камеры, см., например, [5].

### ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРИБОРНОЙ БАЗЫ

В Лаборатории оптоэлектроники и голографии ФТИ им. А.Ф. Иоффе на протяжении многих лет велись работы по созданию малогабаритной голографической интерференционной аппаратуры. В 1980 г. на станции "Салют-6" успешно работала компактная голографическая аппаратура КГА-1, подтвердившая возможность функционирования голографической установки в условиях космического полета [6]. Были проведены исследования процесса растворения кристаллов солей. Прибор представлял собой каркасную голографическую установку с трехмерно-пространственной компоновкой элементов оптической схемы, располагаемых на несущих элементах (рамах), жестко связанных между собой стержнями и светозащитным экраном, помещаемую на виброизоляторах в защитный кожух.

Модификация прибора привела к созданию КГА-2 для исследования процессов в прозрачных средах методами голографической интерферометрии двойной экспозиции. Осуществлено изучение процессов роста и растворения кристаллов, процесса электрофореза белков, теплопереноса. Принципиальное техническое решение — как в предыдущем приборе. Аппаратура участвовала в эксперименте "Таврия" на космической станции "Салют-7" в 1983 г. [7] Комплекты кассет для регистрации голограмм доставлялись на борт также в 1984 и 1985 гг. Для регистрации матрицы голограмм использовалось специальное устройство — регистратор голографических интерферограмм.

Следующей значимой разработкой был регистратор голографический интерференционный [8, 9]. Проводилось исследование процессов теплопереноса, диффузии, оценка растворимости газа в жидкости, визуализация потоков. Прибор представляет собой автономную оптическую систему, обладающую жесткой конструкцией и обеспечи-

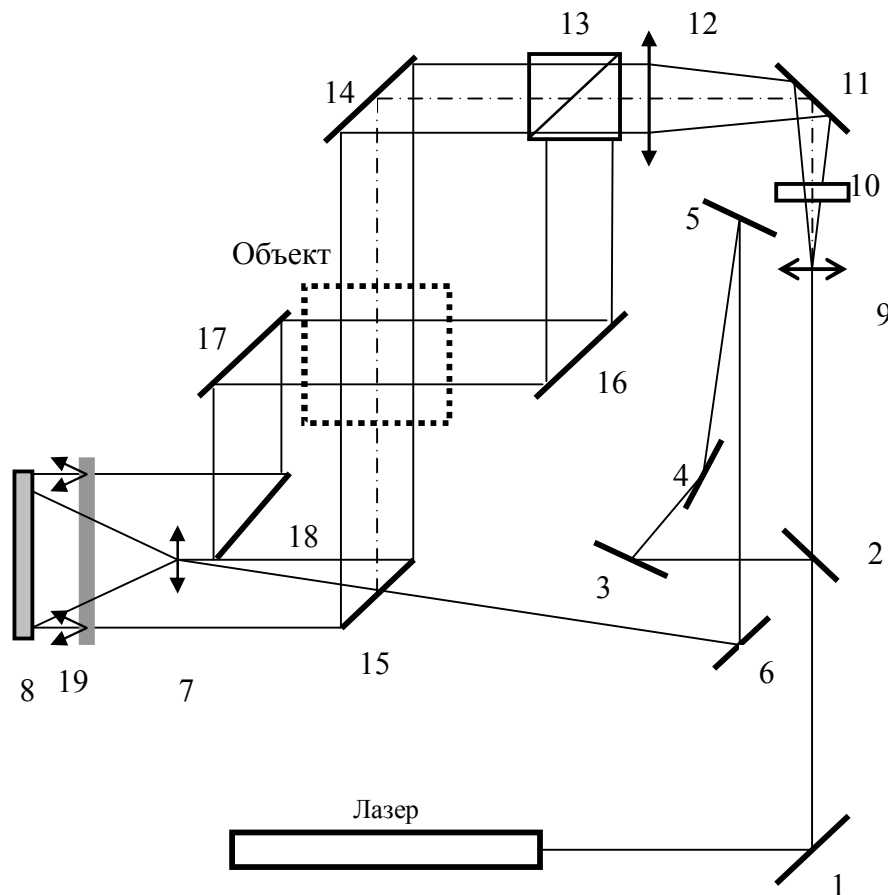
вающую получение интерференционной картины в условиях внешних вибраций. Конструкция прибора позволяет менять схему освещения объекта в зависимости от требований методики эксперимента. На базе этого прибора создан голографический интерферометр-коррелятор [10] и голографический интерференционный микроскоп [11].

При проведении ряда экспериментов вставала задача визуализации оптических неоднородностей и конвективных потоков в исследуемых объектах по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Для этого был разработан двухкоординатный голографический интерферометр с трехмерно-пространственной компоновкой элементов оптической схемы, располагаемых на рамах, жестко связанных между собой стержнями. Наблюдение за объектом и визуализация процессов происходит

по двум взаимно перпендикулярным направлениям, что позволяет извлекать полную информацию об объекте.

### ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Интерферометр обеспечивает визуализацию оптических неоднородностей и конвективных потоков в исследуемых объектах по взаимно перпендикулярным направлениям, их видеорегистрацию и после соответствующей обработки получение пространственного распределения показателя преломления в исследуемом объекте. Интерферометр работает в режиме голографической интерферометрии двойной экспозиции и в режиме голографической интерферометрии реального времени.



Оптическая схема интерферометра.

1, 3–6, 11, 14–18 — зеркала; 2 — полупрозрачное зеркало; 7 — микролинза; 8 — голограмма; 9 — микрообъектив; 10 — плоскопараллельная пластинка; 12 — линза; 13 — светоделитель; 19 — рассеиватель

Специальная конструкция интерферометра, состоящая из рамок, соединенных стяжками, обеспечивает надежность его работы. Габариты прибора —  $500 \times 500 \times 130$  мм, масса менее 10 кг. На каркасе закреплены поворотные зеркала, светоделитель, корректор пространственных частот. Для защиты от внешних помех и удобства использования интерферометр имеет защитный кожух.

Интерферометр состоит из узла излучателя с блоком питания, оптической системы, включающей зону  $200 \times 200 \times 130$  мм для установки кюветы, пульта управления, системы регистрации, видеокамеры. Узлы выполнены в виде отдельных функциональных блоков. В качестве источника когерентного излучения используется гелий-неоновый лазер с длиной волны 0.63 мкм. Максимальный объем объекта исследования  $60 \times 60 \times 60$  мм. Максимальный формат голограмм  $40 \times 40$  мм. Исследуемые среды — вода, спирт, глицерин, органические кристаллы и другие, прозрачные в диапазоне 638 нм среды.

#### ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Оптическая схема (см. рисунок) представляет собой схему получения голограмм с просвечиванием объекта во взаимно перпендикулярных направлениях. Свет от лазера отражается зеркалом 1 и падает на поверхность полупрозрачного зеркала 2. Часть светового потока, отраженного от передней поверхности зеркала 2, зеркал 3–6 используется для формирования опорного пучка с помощью микролинзы 7. Взаимное расположение зеркал 3–6 служит для выравнивания длины оптических путей опорного и объектного пучков. Для того чтобы распределение света в объектном пучке было равномерным, использован микрообъектив 9 с фокусным расстоянием 2.5 см. Плоскопараллельная пластинка 10 компенсирует разность хода. Вторая линза 12 формирует параллельный пучок. Параллельный пучок делится светоделителем 13 на два, которые с помощью зеркал 14 и 16 просвечивают объект по двум взаимно перпендикулярным направлениям. За объектом исследования установлен рассеиватель 19, обеспечивающий локализацию наблюдаемой интерференционной картины в его плоскости, на которую с помощью зеркал 15, 17, 18 направляются пучки света, прошедшие через объект. Рассеиватель выполнен в виде матового стекла с односторонней шероховатостью. Объектный и опорный пучки сходятся в плоскости регистрации 8 и образуют интерференционную картину. Зарегистрированная на светочувствительном материале, она представляет собой голограмму объекта.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан голографический интерферометр для получения интерферограмм двух проекций объекта. Интерферометр предназначен для визуализации оптических неоднородностей и конвективных потоков в исследуемых объектах в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Компактное устройство интерферометра позволяет использовать его не только в лаборатории, но и в условиях натуральных экспериментов.

Научная часть работы была выполнена под руководством Константинова В.Б. при технической помощи Левушкина В.М.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В.* Голографическая интерферометрия. М.: Наука, 1977. 340 с.
2. *Бекетова А.К., Белозеров А.Ф., Березкин А.Н. и др.* Голографическая интерферометрия фазовых объектов. Л.: Машиностроение, 1979. 232 с.
3. *Клименко И.С.* Голография сфокусированных изображений и спекл-интерферометрия. М.: Наука, 1985. 224 с.
4. *Georges M.P., Scaufaire V.S. and Lemaire P.C.* Compact and Portable Holographic Camera Using Photorefractive Crystals. Application in Various Metrological Problems // Applied Physics B: Lasers and Optics. 2001. V. 72, N 6. P. 761–765.
5. *Shevtsov M.K. et al.* The GREEF Portable Holographic Camera and Its Practical Use // Journal of Optical Technology. 2006. V. 73, N 7. P. 462–465.
6. *Константинов В.Б., Черных Д.Ф. и др.* // ЖТФ. 1982. Т. 52, вып. II. С. 2192–2197.
7. *Баранников А.Л., Ганжерли Н.М., Гуревич С.Б. и др.* // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9, вып. II. С. 659–661.
8. *Дунаев Н.Ю., Константинов В.Б., Писаревская С.А., Черных Д.Ф.* // Тез. докл. Всесоюз. симпоз. "Методы и применение голографической интерферометрии", Куйбышев, 1990.
9. *Гуревич С.Б., Константинов В.Б.* // Оптический журнал. 1996. № 10. С. 3–13.
10. *Бабенко В.А., Гуревич С.Б., Константинов В.Б. и др.* // ПЖТФ. 2003. Т. 29, вып. 12. С. 83–88.
11. *Константинов В.Б., Бабенко В.А., Малый А.Ф.* // ЖТФ. 2007. Т. 77, вып. 12. С. 92–95.

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе,  
РАН, Санкт-Петербург*

Материал поступил в редакцию 29.04.2009.

## **THE POSSIBILITY OF PHASE OPTICAL HETEROGENEITY VISUALIZATION IN VOLUME**

**V. A. Babenko**

*Ioffe Physical Technical Institute RAS, Saint-Petersburg*

The holographic interferometer for visualization of 3D phase objects in two mutually perpendicular directions is presented.

*Keywords:* interferometry, 3D phase media