

В. И. ГУЖОВ, А. Г. КОЗАЧОК, Е. Г. ЛОПАРЕВ,  
М. Г. ОРЛОВ, В. В. ЧЕРНОБРОВИН  
(Новосибирск)

### ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ РАЗНОСТИ ФАЗ МЕТОДОМ ВНЕСЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ФАЗОВОГО СДВИГА

Необходимость регистрации и выделения волнового фронта светового излучения возникает при решении задач тестирования оптики и голографических оптических элементов, измерения комплексного пропускания газа, плазмы или биологических объектов, неразрушающего контроля в механике и т. п. Наиболее широко используемые методы основаны на принципе голографической интерферометрии.

При интерференции двух фронтов получается поле, представляющее собой картину полос, в которой заключена информация о фазе. Обычный метод расшифровки состоит в выделении середин полос, вдоль которых имеется априорная информация о разности фаз. Значения разности фаз в точках между серединами полос определяются применением нелинейной интерполяции. Недостаточная точность известных алгоритмов выделения середин полос и погрешности, возникающие при интерполяции, приводят к ошибкам в определении поля разности фаз. Особенно велики такие ошибки при небольшом числе полос.

Для уменьшения подобных ошибок желательно вычислять величину разности фаз в каждой точке непосредственно. Одним из путей решения этой проблемы является применение метода квазитетрадинирования [1—3]. Метод основан на подходе, при котором интерферограмма описывается уравнением с неизвестными амплитудами волновых полей и разностью фаз в каждой точке. Меняя фазу одного из фронтов на контролируемую величину, получим систему трех независимых уравнений, из которых поле фазовых разностей в каждой точке определяется следующим образом:

$$\Phi(x, y) = \arctg \frac{(I_3 - I_2) \cos \Phi_1 + (I_1 - I_3) \cos \Phi_2 + (I_2 - I_1) \cos \Phi_3}{(I_3 - I_2) \sin \Phi_1 + (I_1 - I_3) \sin \Phi_2 + (I_2 - I_1) \sin \Phi_3}, \quad (1)$$

где  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  — контролируемые изменения фазы;  $I_1, I_2, I_3$  — значения интенсивности в точках  $x, y$  на интерферограммах, полученных при соответствующих сдвигах. Фаза, рассчитанная по (1), определена с точностью до  $2\pi$ . Полная фаза

$$\Phi'(x, y) = \Phi(x, y) + 2\pi N(x, y), \quad (2)$$

где  $N(x, y)$  — целое число, показывающее, сколько раз добавляется  $2\pi$  в точке  $x, y$ . Для случая, когда зоны перехода фазы непрерывны в поле кадра вводимого изображения, нам удалось построить полностью автоматический алгоритм развертывания фазы, состоящий из следующих шагов: 1) поиск непрерывных зон, в которых фаза меняется в пределах  $2\pi$ ; 2) определение знака очередной добавки по поведению внутри зоны; 3) вычисление полной фазы  $\Phi'(x, y)$ .

В Новосибирском электротехническом институте на основе [4] создана измерительная система для реализации подобной методики. На рис. 1 показана блок-

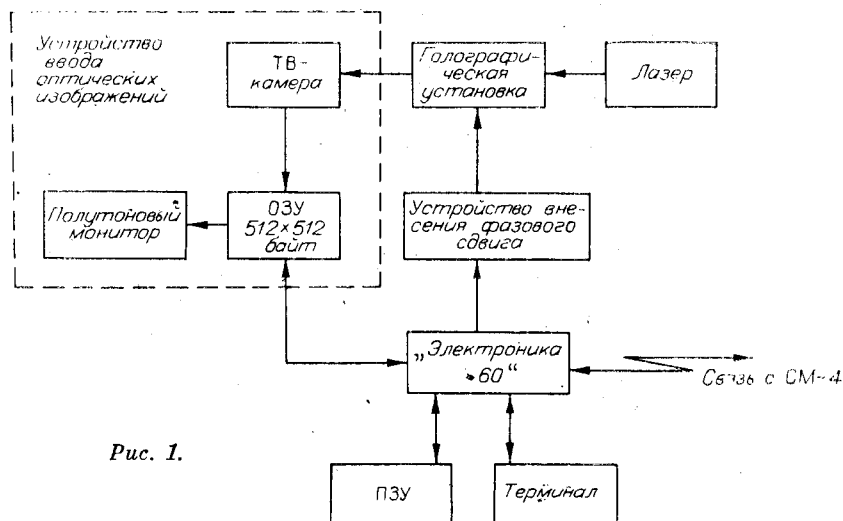


Рис. 1.

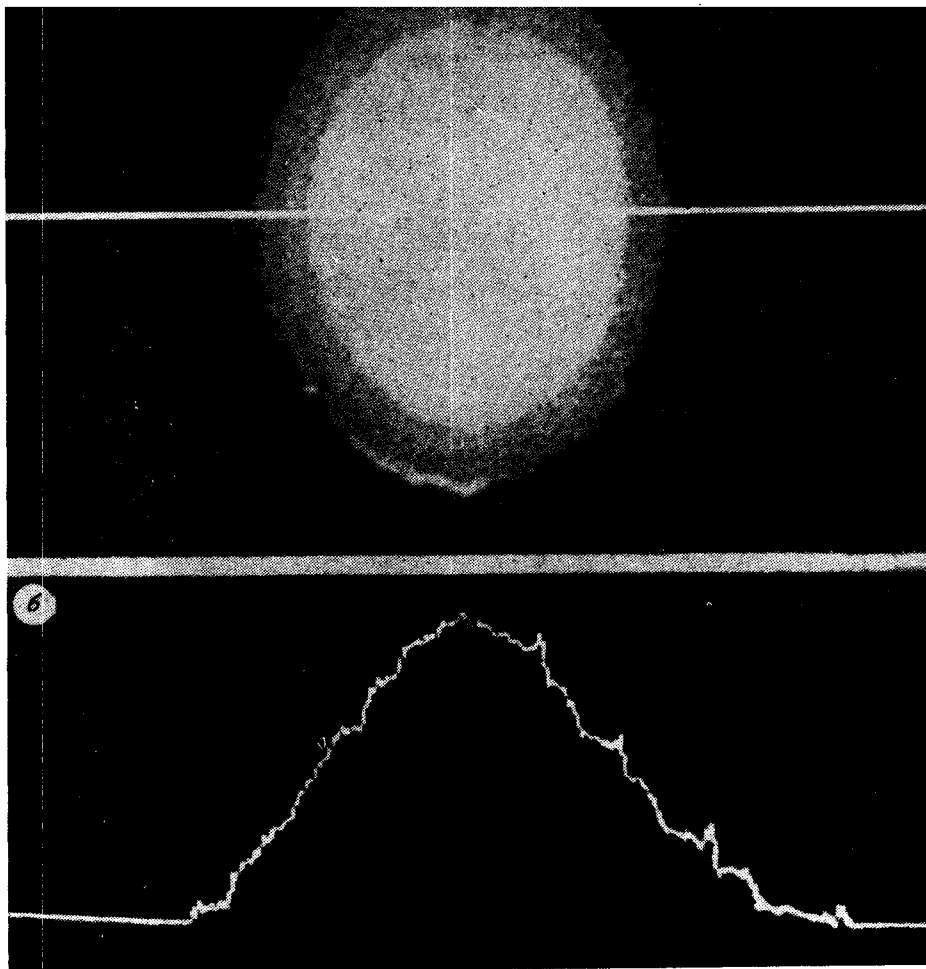


Рис. 2.

схема системы. Система состоит из голографического интерферометра, устройства для ввода и обработки изображений, устройства для внесения контролируемого сдвига фаз и управляющей микроЭВМ «Электроника 60». Фазовый сдвиг вносится с помощью зеркала, закрепленного на пьезокерамике. Для внесения контролируемого сдвига на пьезокерамику подается напряжение через цифроаналоговый преобразователь от микроЭВМ. В качестве устройства ввода применяется описанная в [5, 6] система для ввода и интерактивной обработки изображений, позволяющая в режиме видеокadra вводить и запоминать в собственном ОЗУ до 8 изображений в формате  $512 \times 512$  точек. Одновременно содержимое ОЗУ отображается на полупрозрачном дисплее для контроля за качеством ввода. К ОЗУ системы имеет доступ микроЭВМ, в ПЗУ которой хранятся программы, обеспечивающие определение поля разности фаз по серии из трех интерферограмм. С помощью последовательной линии связи «Электроника 60» соединена с универсальной системой для обработки изображений на базе УВК СМ-4 [4], что позволяет использовать полученные поля разностей фаз для дальнейшей обработки.

Возможности описываемой системы экспериментально проверялись при решении задачи о прогибе круглой мембраны, жестко закрепленной по краям и нагруженной в центре сосредоточенной силой. В эксперименте использовалась мембрана, имеющая диаметр 42 мм и толщину 0,5 мм, изготовленная из материала Д16Т. Объект освещался гелий-неоновым лазером ( $\lambda = 628$  нм). Интерферограммы были получены с помощью интерферометра Майкельсона методом реального времени. В тракте опорного пучка интерферометра для внесения фазового сдвига помещалось зеркало, закрепленное на пьезокерамике.

На рис. 2 показаны результаты расшифровки: *a* — результирующее поле прогиба мембраны, *b* — график прогиба вдоль указанного на рис. 2, *a* сечения. Время полной обработки составляет 1 мин.

Применение подобной системы позволяет полностью автоматизировать расшифровку интерферограмм при решении задач методами голографической интерферометрии в реальном времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Schmidt-Weinmar H. G. Spatial distribution of magnitude and phase of optical — wave fields. — JOSA, 1973, v. 63, N 5, p. 547—555.
2. Hariharan P., Oreb B. F., Brown N. Real — time holographic interferometry: a micro-computer system for the measurement of vector displacements. — Appl. Opt., 1983, v. 22, N 6, p. 876—880.
3. Dandliker R., Thalmann R., Willemint J.-F. Fringe interpolation by two-reference-beam holographic interferometry: reducing sensitivity to holographic misalignment. — Opt. Commun., 1982, v. 42, N 5, p. 301—306.
4. Гужов В. И., Дружинин А. И., Козачок А. Г., Логинов А. В. Измерительно-вычислительная система для исследования напряженно-деформированного состояния объектов. — Автометрия, 1982, № 4, с. 102—103.
5. Кульков Н. В., Никульцев В. С., Стубарев В. М. Интерактивная система обработки данных. — В кн.: Системы автоматизации обработки оптической информации. Межвуз. сб. тр. Новосибирск: НЭТИ, 1984.
6. Буймов В. П. и др. Устройство ввода и обработки графической информации. — В кн.: Обработка изображений и дистанционные исследования. Ч. 2: Тез. докл. Всесоюз. конф. Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1984.

Поступило в редакцию 14 марта 1985 г.

#### НАШИ ИНТЕРВЬЮ

По поручению главного редактора журнала «Автометрия» академика Ю. Е. Нестерихина один из его заместителей д-р физ.-мат. наук В. К. Малиновский обратился к французскому ученому с вопросами:

1. Какие события Вы считаете наиболее важными в Вашей области науки за последние 5—10 лет?
2. Каковы дальнейшие пути развития науки в Вашей области?

**Проф. М. Франсон** (специалист в области оптики и голографии).

1. Использование спеклов для получения снимков звездного неба с высоким пространственным разрешением.
2. Изучение оптической бистабильности и ультракоротких релаксационных процессов с разрешением  $\tau \sim 10^{-14}$  с, использование оптических волокон для создания качественно новых измерительных систем.

**Проф. М. Балканский** (директор лаборатории спектроскопии твердого тела) и один из его ведущих сотрудников **С. Хирлиман**.

1. Создание технических средств для туннельной микроскопии поверхности. Новые данные позволяют построить научные основы катализа.
2. Применение фемтосекундных импульсов для изучения процессов релаксации электронов и фотонов в одно-, двух- и трехмерных системах.

**Проф. Ф. Абелес** (директор лаборатории оптики твердого тела).

1. Открытие квантового эффекта Холла.

**Д-р Ю. Дюран** (директор лаборатории оптики конденсированной материи).

1. Развитие идей фрактальной геометрии природы.
2. Создание сверхрешеток из различных материалов и исследование их свойств. Появилась уникальная возможность получить материалы с новыми свойствами, что невозможно сделать при обычных методах роста кристаллов.

**Проф. М. Клеман** (директор лаборатории физики твердого тела).

1. Обнаружение и исследование сверхпроводимости в органических материалах и применение новых топологических идей в физике твердого тела.
2. Изучение неупорядоченных систем, использование которых в практических устройствах уже не за горами.