

2. Изменение ОСШ на выходе коррелятора при изменении масштаба и угла поворота изображений, поступающих на вход системы, зависит от: а) распределения энергии в спектре анализируемых изображений; б) поперечных размеров анализируемого изображения; в) полосы рабочих пространственных частот.

А. Для фильтров с широкой полосой пространственных частот изменение ОСШ определяется прежде всего средним значением частоты в полосе частот спектра, которой переносится основная энергия.

Б. Для узкополосного фильтра изменение ОСШ при геометрических искажениях входной информации определяется прежде всего размерами анализируемого изображения и мало зависит от конкретного вида обрабатываемых изображений.

3. Проведенные теоретические оценки и экспериментальные результаты могут быть использованы при конструировании систем оптической обработки информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко Г. И., Цибульский Л. М. Голографические распознающие устройства.— М.: Радио и связь, 1985.
2. Кейсент Д., Псалтис Д. Новые методы оптических преобразований для распознавания образов // ТИИЭР.— 1977.— 65, № 1.
3. Ващенко В. И., Мохунь И. И., Яценко В. В. Анализ голографических корреляционных систем с абберационными и дифракционными погрешностями преобразования сигнала.— Томск, 1989.— Деп. в ВИНТИИ 28.02.89, № 1377-В 89.
4. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография.— М.: Мир, 1973.

Поступило в редакцию 4 января 1990 г.

УДК 772.932.45

О. В. ГАЛАБУРДА, В. А. ОКУШКО, В. Н. ТЮШКЕВИЧ
(Минск)

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР НА БАЗЕ ДВУХИМПУЛЬСНОГО РУБИНОВОГО ЛАЗЕРА С ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ

При регистрации голограмм в созданном на базе рубинового лазера двухэкспозиционном голографическом интерферометре [1] применяется галогенидосеребряная фотопленка. Несмотря на высокую фоточувствительность, галогенидосеребряные материалы обладают весьма существенным недостатком: длительность процесса химической обработки этих материалов значительно снижает оперативность при восстановлении и считывании голографической информации. Хотя отечественные фототермопластические носители (ФТПН) по отдельным параметрам уступают галогенидосеребряным, их использование позволяет избавиться от указанного недостатка. ФТПН успешно применяются при регистрации голографических интерферограмм с использованием непрерывных газовых лазеров [2, 3] или твердотельных лазеров, работающих в режиме свободной генерации [4].

Для регистрации голографических интерферограмм диффузно отражающих объектов методом двух экспозиций нами создано устройство фототермопластической записи, состоящее из ячейки-держателя и электронного блока управления. В ячейке-держателе, световая апертура которой составляет 25×30 мм, предусмотрено крепление как лепточного ФТПН, так и ФТПН на стеклянной подложке. Управление режимами записи осуществляется с помощью электронного блока, который задает режимы зарядки и тепловой обработки ФТПН. Кроме того, в нем предусмотрено формирование импульсов для управления блоком питания и накачки двухимпульсного твердотельного лазера. Основными узлами электронного блока управления являются субблок логики, формирующий все необходимые временные соотношения работы остальных узлов; высоковольтный блок для зарядки ФТПН; блок управления нагревом и блок питания. В целом по своим функциональным возможностям устройство позволяет производить последовательный (зарядка, экспонирование и проявление разнесены во времени), параллельный (зарядка, экспонирование и проявление производится одновременно) и смешанный режимы фототермопластической записи.

Выбор оптимальных режимов произведен на основании исследований результатов записи на ФТПН двухэкспозиционных голографических интерферограмм диффузно отражающих объектов*. Оптическая схема и состав голографического интерферометра, включая рубиновый лазер, работающий в режиме двух гигантских импульсов с перестраиваемым временным интервалом между ними, аналогичны опи-

* Основные результаты исследований доложены на Всесоюз. науч.-техн. конф. «Оптический, радиоволновой и тепловой методы неразрушающего контроля» (Могилев, Могилевский машиностроит. ин-т, 23—25 мая 1989 г.).

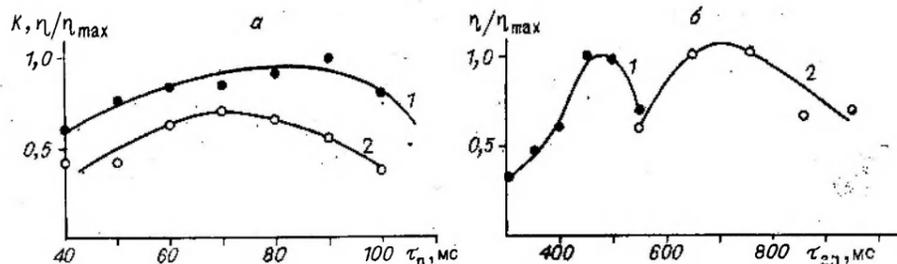


Рис. 1. Зависимость дифракционной эффективности η/η_{\max} (a1 и b1) и контраста K (a2) от длительности проявляющего импульса τ_n (a) и времени задержки включения импульсного проявления $\tau_{зп}$ (b):

$T_0 = 333$ (a и b1) и 328 К (b2); $U_K = 8$ (a и b1) и $9,2$ кВ (b2); $\tau_K = 1$ с; $\tau_{зз} = 0,6$ с (a и b1) и $0,65$ с (b2); $\tau_{п} = 90$ (b1) и 70 мс (b2); $\tau_{зп} = 500$ мс (a). Материал ФТПН-Л (a и b1) и ФТПН-ЛО (b2). Плотность мощности, выделяемой в нагревательном элементе, $P = 20$ Вт/см²

санным в [1]. Для записи применялись ленточные носители ФТПН-ЛО и ФТПН-Л шириной 35 мм. Объектами служили детали и узлы газотурбинных двигателей (ГТД), возбуждаемые на резонансных частотах. При исследовании на резонансных частотах форм колебаний лопаток ГТД размером до 60×130 мм использовался лишь задающий генератор лазера с энергией двух импульсов ~ 20 мДж, работающий в режиме ТЕМ_{00q}-моды. Оптимизация процесса фототермопластической записи по зарядке и проявлению осуществлялась по качеству голографических интерферограмм, критерием которого служили дифракционная эффективность η двухэкспозиционной голограммы, контраст K наблюдаемых интерференционных полос и интенсивность $I_{ш}$ излучения, рассеянного на «морозных» деформациях. При фототермопластической записи зарядка, экспонирование и тепловое проявление ФТПН осуществлялись следующим образом. Перед зарядкой фототермопластик предварительно нагревался до некоторой начальной температуры T_0 , несколько меньшей температуры проявления. С некоторой задержкой $\tau_{зз}$ относительно начала коронного разряда происходила генерация лазера и экспонирование ФТПН. Импульсное проявление также включалось с определенной задержкой $\tau_{зп}$ по отношению к началу коронного разряда. При оптимизации процесса фототермопластической записи длительности коронного разряда τ_K и импульсного проявления τ_n варьировались наряду с другими параметрами.

Кривые, полученные для материала ФТПН-Л и представленные на рис. 1, а, свидетельствуют, что в зависимостях дифракционной эффективности и контраста интерференционных полос от длительности импульсного проявления наблюдается оптимум, причем максимумы η и K несколько сдвинуты друг относительно друга.

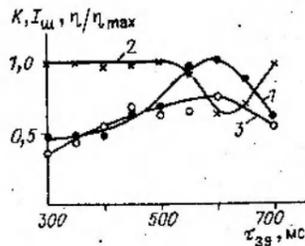
Причинами этого смещения, на наш взгляд, является различие во времени задержки начала проявления регулярных и хаотических деформаций, а также разная скорость их роста, о которых сообщается в [5], что в конечном итоге приводит к смещению во времени максимальных значений η и K .

Как показывают кривые (рис. 1, б), существует оптимум и по времени задержки импульсного теплового проявления $\tau_{зп}$ относительно начала коронного разряда. При этом оптимальное значение $\tau_{зп}$ различно для используемых материалов, отличающихся температурой проявления (у ФТПН-Л она выше). Время задержки включения импульсного проявления (для выбранных режимов зарядки и экспонирования) определяет величину потенциала поверхности ФТПН перед началом деформации. При больших значениях $\tau_{зп}$ поверхность носителя успевает зарядиться до потенциала выше критического. При этом проявляются хаотические («морозные») деформации, которые в значительной степени влияют на η и K [6]. При малых значениях $\tau_{зп}$ происходит снижение температуры ФТПН до окончания его зарядки и становится малоэффективным процесс усиления начальных деформаций за счет действия коронного разряда.

Поскольку величина контраста полос двухэкспозиционной голографической интерферограммы, регистрируемой на ФТПН, наряду с соотношением дифракционных эффективностей голограмм при первом и втором экспонировании, определяется

Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности η/η_{\max} (1), интенсивности $I_{ш}$ (2) «морозных» деформаций и контраста K (3) от задержки включения экспозиции $\tau_{зз}$ для ФТПН-Л:

$T_0 = 333$ К; $U_K = 8$ кВ; $\tau_K = 1000$ мс; $\tau_{зп} = 500$ мс;
 $\tau_{п} = 90$ мс; $P = 20$ Вт/см²



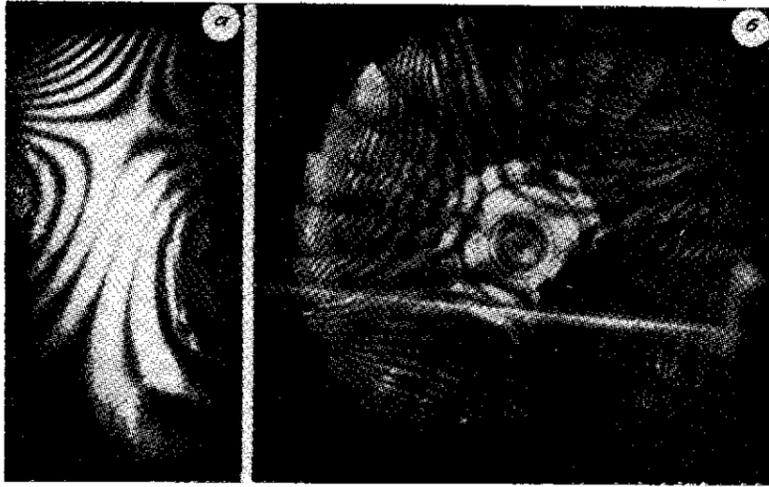


Рис. 3. Голографические интерферограммы лопатки ГТД размером 40×70 мм (а) и колеса вентилятора диаметром 1,5 м (б), колеблющиеся на резонансных частотах

режимом фототермопластической записи, одной из задач при оптимизации которого является подавление «морозного» шума, исследована зависимость η , K и I_m от t_{exp} . Величина интенсивности шума оценивалась как среднее арифметическое его значений в плоскости восстановленного действительного изображения объекта в двух точках: на пространственных частотах, находящихся в непосредственной близости от максимальной и минимальной пространственных частот объекта.

Как показывает рис. 2, при оптимальных временах t_{ex} , t_{in} , t_{exp} и напряжении ионизирующего разряда U_{in} при изменении времени задержки экспозиции t_{exp} с увеличением дифракционной эффективности голограммы интенсивность рассеянного «морозного» деформациями излучения падает, что связано, по-видимому, с подавлением хаотических деформаций регулярными [7], и является одной из причин возрастания контраста интерференционных полос. Дифракционная эффективность полученных голограмм составляла 2–2,5 % для ФТПН-Ю и ~1 % для ФТПН-Л. Временной интервал между экспозициями был фиксированным и составлял 150 мкс. При перестройке временного интервала между экспозициями в широких пределах необходимо учитывать возможные при этом изменения дифракционных эффективностей голограмм при первой и второй экспозициях, контраста интерференционных полос и «морозного» шума, поскольку условия фототермопластической записи при первом и втором экспонировании будут существенно изменяться.

Голографирование крупногабаритных диффузно отражающих объектов (диаметром 0,5 м и более) осуществлялось с использованием каскадов усиления рубинового лазера. При энергии двух импульсов ~0,8 Дж получены голографические интерферограммы изделий диаметром до 1,5 м. Голографические интерферограммы отдельных узлов ГТД представлены на рис. 3, а, б. При использовании носителя ФТПН-Ю дифракционная эффективность интерферограмм крупногабаритных изделий составляла 1–1,5 %. Проведенные исследования показали, что голографический интерферометр на базе двухимпульсного рубинового лазера с фототермопластической регистрацией может быть успешно использован при неразрушающем контроле различного рода изделий и объектов, в частности при исследовании вибрационных характеристик колес компрессоров, турбин, вентиляторов и других деталей узлов ГТД в процессе испытаний их на вибростендах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев А. А., Тюшкевич Б. Н., Бровкович В. Г. и др. Двухэкспозиционный импульсный голографический интерферометр на базе рубинового лазера // Журн. прикл. спектроскопии.— 1988.— 48, № 2.
2. Зайченко О. В. Камера для голографической интерферометрии с фототермопластическим носителем // ОМП.— 1986.— № 6.
3. Тюшкевич Б. Н., Окушко В. А. Регистрации на фототермопластическом носителе форм колебаний объектов методом усредненной во времени голографической интерферометрии // XIII Всесоюз. конф. «Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстротекущих процессов»: Тез. докл.— М.: ВНИИОФИ, 1987.
4. Тюшкевич Б. Н., Окушко В. А. Регистрация на фототермопластике голограмм диффузно-отражающих объектов излучением рубинового лазера в свободном режиме

- генерации // V Всесоюз. конф. «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение»: Тез. докл. М.: ВНИИОФИ, 1984.
5. Тюшкевич Б. Н., Окушко В. А. Динамика записи голограмм на фототермопластический носитель рубиновым лазером в свободном режиме генерации // Оптическая запись и обработка информации: Сб. науч. трудов.— Куйбышев: КуАИ, 1986.
 6. Находкин Н. Г., Новоселец М. К. Некоторые шумы и волнистости ТП сред в голографии // Фундаментальные основы оптической памяти и среды. - 1977.— Вып. 8.
 7. Находкин Н. Г., Кувшинский Н. Г. Термопластические среды для регистрации голограмм // Пространственные модуляторы света.— Л.: Наука, 1977.

Поступило в редакцию 7 февраля 1990 г.

УДК 681.3.06

А. М. КОВАЛЕВ, Ю. В. ТАРНОПОЛЬСКИЙ
(Новосибирск)

ПРОЕКТИВНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТРИАНГУЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

При создании высокопроизводительных систем синтеза визуальной обстановки (ССВО) с применением векторно-конвейерных процессоров [1] актуальной становится разработка легко векторизуемых алгоритмов преобразования трехмерных плоских многоугольников в объектном пространстве.

В традиционных алгоритмах [2, 3] не поддается векторизации процесс клиппирования многоугольников относительно плоскостей пирамиды видимости. Как правило, известные алгоритмы клиппирования [4] являются повторно-входными с контекстными переключениями или многочисленными ветвлениями.

В ряде алгоритмов клиппирование переносит в пространство изображения [5, 6]. Известны системы, например Pixel Plane [7], в которых предварительное клиппирование не является обязательным. В таких системах проекция многоугольника на плоскость изображения задается пересечением полуплоскостей, ограниченных прямыми линиями, а в объектном пространстве достаточно определить лишь уравнения этих линий вида

$$Ax + By + C = 0, \quad (1)$$

где x, y — координаты пиксела в плоскости изображения.

В современных ССВО для повышения реализма изображений широко используется текстурирование поверхностей объектов [8, 9]. При этом, в частности, необходимо линейно интерполировать некоторые координаты текстурного рисунка вдоль плоскости многоугольника в объектном пространстве. Способы интерполяции параметров в пространстве изображения, обычно используемые для таких параметров, как яркость или цвет [10, 11], не пригодны для текстуры из-за визуальных искажений текстурного рисунка при эволюции объектов или наблюдателя в пространстве.

Показано, что в плоскости изображения координаты текстурного рисунка определяются отношением двух линейных функций [12] вида

$$f = (Ax + By + C)/(Dx + Ey + F), \quad (2)$$

где A, B, C — коэффициенты линейных функций текстурных координат в объектном пространстве; D, E, F — компоненты нормали к плоскости многоугольника.

Ясно, что выражение (2) может быть применено для интерполяции и других параметров, таких, как яркость, цвет, полупрозрачность и т. д.

В настоящей работе рассматривается проективное преобразование в объектном пространстве при следующих ограничениях:

1) исходное описание поверхностей объектов составлено из треугольников, заданных трехмерными координатами вершин и набором параметров при этих вершинах;

2) результирующее описание поверхностей объектов, спроецированных на плоскость изображения, содержит коэффициенты «реберных» линий треугольников согласно (1) и коэффициенты линейных функций для вычисления параметров согласно (2).

Уравнения реберных линий проекции треугольника. Пусть

$$P = P_0 M^{-1} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

— матрица координат вершин треугольника в системе координат наблюдателя, где P_0 — исходная матрица координат вершин в базе данных; M — матрица преобразова-