

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Е. Кривенков, П. Е. Твердохлеб, Ю. В. Чугуй. Оптический метод кодирования изображений при помощи преобразования Адамара.— «Автометрия», 1974, № 6.
2. О. И. Потатуркин, П. Е. Твердохлеб, Ю. В. Чугуй. Обобщенный спектральный анализ изображений с использованием силуэтных фильтров.— «Автометрия», 1973, № 5.
3. Г. М. Мамонтов, А. К. Поташников, В. П. Радзюкевич, А. И. Рыбин, С. Е. Ткач. Использование устройства вывода информации из ЭВМ на микрофильм для автоматического изготовления фотошаблонов.— «Упр. системы и машины», 1974, № 5.

Поступила в редакцию 13 февраля 1975 г.

УДК 535.853.4

В. А. АРБУЗОВ, А. Г. ПОЛЕЩУК, В. А. ФЕДОРОВ
(Новосибирск)

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННО-ТЕНЕВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Для получения информации о поле коэффициента преломления исследуемой оптической среды либо иных физических величин, функционально с ним связанных, широко используют теневые, интерференционные и интерференционно-теневые приборы. Последний тип приборов формирует одновременно два изображения, каждое из которых по-своему функционально связано с исследуемой оптической средой. Такая избыточная форма представления информации позволяет получать в конечном счете более достоверные оценки параметров поля. Чаще всего интерференционно-теневые приборы создают на базе теневых приборов [1, 2]. Полученные с их помощью изображения неоднородностей оптических сред обычно представляют собой наложение интерференционного изображения на теневое, либо эти изображения разделяются на разные экраны. Наложение изображений уменьшает контраст интерференционных полос и приводит к ухудшению метрологических характеристик устройства. Наличие же двух экранов, а следовательно, и двух синхронизируемых фоторегистраторов усложняет схему. В этой связи нами разработана методика получения интерференционно-теневого изображения, которые не налагаются друг на друга. Интерференционное изображение легко может быть получено на любом участке теневого изображения, и наоборот. Устройство, обеспечивающее такой режим визуализации, изображено на рис. 1.

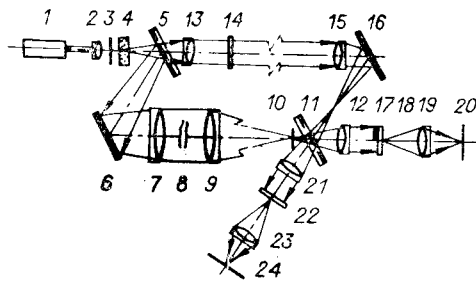


Рис. 1.

Работает оно следующим образом. С помощью последовательно размещенных лазера 1, микрообъектива 2 и диафрагмы 3 формируется источник монохроматического света. Далее лучи света проходят через двоякопреломляющую пластинку 4 исландского шпата, вырезанную под углом к ее оптической оси, образуя два пучка, смещенных параллельно

друг к другу и имеющих взаимно-ортогональную поляризацию. С помощью светоделительного зеркала 5 и поворотного зеркала 6 световой поток вводится соответственно в канал теневого прибора (в измерительную ветвь интерферометра) и в ветвь сравнения интерферометра. Первый канал состоит из коллимирующего объектива 7, основного объектива 9, фильтра пространственных частот 10 («визуализирующей диафрагмы») и восстанавливающего объектива 12. Второй канал состоит из коллимирующего объектива 13, поляроида 14, объектива 15 и поворотного зеркала 16. Световые потоки обоих каналов с помощью светоделительного зеркала 11 объединяются в один тракт. Объектив 12 настраивается таким образом, чтобы он мог переносить изображение исследуемой неоднородности 8, помещаемой между объективами 7 и 9, в плоскость, где расположен поляроид 18. В этой плоскости одновременно локализируются два изображения с взаимно-ортогональными плоскостями поляризации, образуемыми соответственно теньвым и интерференционным каналами устройства. Поляроид 18 в зависимости от своей ориентации осуществляет селекцию одного из них. Перед поляроидом помещается элемент 17, способный поворачивать на 90° плоскость поляризации проходящего сквозь него света. Таким образом, если поляроид 18 ориентирован на пропускание теневого изображения, то на участке, занимаемом элементом 17, вместо теневого появится интерференционное изображение. Объектив 19 переносит сформированное интерференционно-теньвое изображение в плоскость регистрирующего устройства 20 (глаз, фоторегистратор). Выбор наиболее интересного участка можно осуществить предварительно, наблюдая интерферограмму или тенеграмму всего поля на экране 24, которым завершается вспомогательный тракт (элементы 21—24), устроенный идентично с основным каналом (элементы 12, 17—20) и отличающийся от него только отсутствием элемента 17. Если в качестве визуализирующей диафрагмы используется нож Фуко, то его край совмещается с изображением первого источника света, не срезая при этом лучей от второго источника. Расстояние между источниками определяется материалом и толщиной используемой двоякопреломляющей пластины. Соотношение яркостей источника регулируется поворотом плоскости поляризации лазерного излучения. Расположенный в ветви сравнения интерферометра поляроид 14 служит для подавления излучения первого источника света, используемого для создания теневого изображения.

Описанная методика получения интерференционно-теневого изображения проверялась на созданном действующем макете, основу которого составляли элементы оптической скамьи ОСК-2. Работа устройства иллюстрируется рис. 2, на котором приведены визуализированное изображение восходящего потока нагретого воздуха (см. рис. 2, а) и процесс столкновения потока с металлической преградой (см. рис. 2, б).

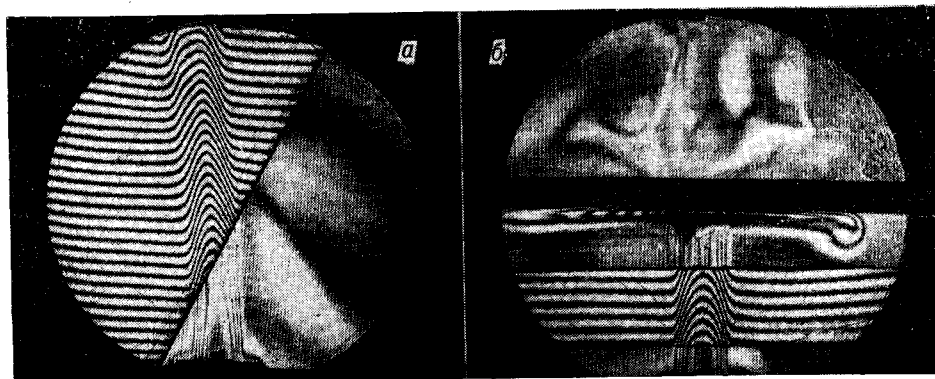


Рис. 2.

Тенеграмма позволяет получить наглядное представление о структуре процесса в целом, а интерференционная «врезка» — количественные оценки измеряемого параметра. Как видно из этих снимков, контраст интерференционного изображения за счет влияния теневого канала практически не уменьшается. Следует подчеркнуть, что расположение интерференционной врезки на тенеграмме задается простым перемещением элемента 17 в плоскости изображения неоднородности, а форма врезки определяется формой элемента 17. В качестве этого элемента использовалась полуволновая поляризационная фазовая пластинка, вырезанная из слюды. Интерференционно-теневого прибор такого типа легко может быть реализован на базе серийных теневых приборов либо на основе выпускаемого промышленностью комплекта унифицированных узлов теневых приборов [3].

Как известно [1, 4], для получения линейной передаточной характеристики теневого канала прибора желательно иметь источник света прямоугольной формы, работающий в сочетании с ножом Фуко или фигурной диафрагмой. Кроме того, необходимо создать условия, при которых минимально обнаруживаемая неоднородность (в простейшем случае — оптический клин) была бы одинаковой для интерференционного и теневого каналов прибора.

Поскольку чувствительность интерферометра при настройке на конечное число полос фиксирована, а чувствительность теневого прибора можно регулировать, изменяя размер источника света или форму визуализирующей диафрагмы, то указанное выше условие обеспечивается (визуализирующая диафрагма — нож Фуко) за счет выбора оптимального размера источника света на основе следующих рассуждений. При применении ножа Фуко оператор, различая на экране прибора N градаций яркости, может обнаружить клиновость, начиная со значения α_{\min} :

$$\alpha_{\min} = \frac{a}{Nf_0(n_\lambda - 1)}, \quad (1)$$

где $2a$ — ширина прямоугольного источника света, f_0 — фокусное расстояние основного объектива, n_λ — коэффициент преломления оптического клина на длине волны λ .

Оператор, наблюдающий за экраном интерферометра, который способен зарегистрировать сдвиг в $\frac{1}{M}$ часть полосы, может обнаружить в неоднородности размером A клиновость β_{\min} :

$$\beta_{\min} = \frac{\lambda}{MA(n_\lambda - 1)}. \quad (2)$$

Приравнивая выражения (1) и (2), находим, что оптимальное в указанном смысле значение ширины источника света в интерференционно-теневого приборе равно

$$2a = \frac{\lambda f_0 N}{AM}. \quad (3)$$

Так как источник света является общим для интерференционного и теневого каналов прибора, необходимо оценить влияние его размеров на уменьшение видности интерференционных полос.

Видность полос V на экране двухлучевого интерферометра, в котором использован коллиматор с фокусным расстоянием f_k и прямоугольный источник света с размерами $2a$ и $2h$, выражается соотношением [5, 6]

$$V = V'V'', \quad (4)$$

где V' и V'' — составляющие видности V , зависящие только от размеров

источника a и h (оси координат OX и OY направлены вдоль a и h) и равные соответственно:

$$\begin{aligned} V' &= \frac{f_k}{4a} \sqrt{\frac{\lambda}{l} \{ [C(\Theta_1) + C(\Theta_2)]^2 + [S(\Theta_1) + S(\Theta_2)]^2 \}}; \\ V'' &= \frac{f_k}{4h} \sqrt{\frac{\lambda}{l} \{ [C(\Gamma_1) + C(\Gamma_2)]^2 + [S(\Gamma_1) + S(\Gamma_2)]^2 \}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \Theta_1 &= 2 \sqrt{\frac{l}{\lambda}} \left(\frac{a}{f_k} - \delta \sin \gamma \right); & \Theta_2 &= 2 \sqrt{\frac{l}{\lambda}} \left(\frac{a}{f_k} + \delta \sin \gamma \right); \\ \Gamma_1 &= 2 \sqrt{\frac{l}{\lambda}} \left(\frac{h}{f_k} + \delta \cos \gamma \right); & \Gamma_2 &= 2 \sqrt{\frac{l}{\lambda}} \left(\frac{h}{f_k} - \delta \cos \gamma \right); \end{aligned}$$

$C(\Theta)$, $S(\Theta)$, $C(\Gamma)$, $S(\Gamma)$ — интегралы Френеля вида

$$C(\tau) = \int_0^\tau \cos \pi \frac{t^2}{2} dt \quad \text{и} \quad S(\tau) = \int_0^\tau \sin \pi \frac{t^2}{2} dt;$$

δ — угол между волновыми фронтами измерительного и сравнительного каналов; γ — угол между осью OX и прямой, являющейся линией пересечения волновых фронтов; $l/\lambda = 2\pi S$, где $S = \pm 1, \pm 2, \dots$, т. е. порядок интерференции.

Используя выражения (4) и (5), легко определить видность полос в любой точке экрана. При расчете видности следует иметь в виду, что в выражении (5) необходимо использовать величину фокусного расстояния коллиматора ветви сравнения интерферометра, так как обычно ее сечение выбирается меньше измерительной ветви.

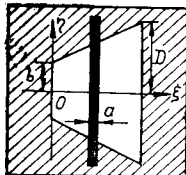
В случае когда при требуемых размерах источника света видность мала, необходимо или применять отдельный малого размера источник света для интерферометра (что усложнит конструкцию прибора), или отказаться от использования в качестве визуализирующей диафрагмы ножа Фуко и использовать вместо него силуэтный фильтр (криволинейную диафрагму) [1] в сочетании с бесконечно узкой осветительной щелью, например, параллельной оси OY . При этом из (5) следует, что $V' = 1$. Вторая же составляющая V'' видности V при ориентации полос параллельно оси OY может быть определена с помощью соотношения

$$V = V'' = \frac{f_k}{2h} \sqrt{\frac{\lambda}{l} [C^2(\Gamma) + S^2(\Gamma)]} \approx \frac{f_k}{h} C\left(\frac{h}{f_k}\right), \quad (6)$$

где $\Gamma = \Gamma_1 = \Gamma_2 = 2 \frac{h}{f_k} \sqrt{\frac{l}{\lambda}}$.

Для обеспечения линейной зависимости освещенности теневого изображения от угла смещения световых лучей в неоднородности края фильтра должны быть ограничены прямой $\eta = K\xi + b$ (рис. 3). Учитывая, что минимально обнаруживаемая величина «клиновости» равна

$$\varepsilon_{\min} = \frac{D - b}{NKf_0(n_\lambda - 1)}, \quad (7)$$



и приравнивая соотношения (2) и (7), получаем выражение для определения желаемой крутизны K края силуэтного фильтра

$$K = \frac{(D - b)MA}{\lambda Nf_0}, \quad (8)$$

Рис. 3.

где D и b — параметры фильтра, определяемые из рис. 3.

Таким образом, предлагаемая авторами методика визуализации позволяет получать на одном экране не налагающиеся друг на друга интерференционные и теневые изображения процесса, в результате чего расширяются экспериментальные возможности теневых приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Васильев. Теневые методы. М., «Наука», 1968.
2. Ю. К. Ермилов и др. Устройство для исследования газовых неоднородностей.— Авт. свид. № 200816. Бюл. изобрет., 1967, № 17.
3. Л. Е. Легу и др. Теневые и интерференционные системы из унифицированных узлов.— «Оптико-мех. пром-сть», 1972, № 9.
4. Б. В. Наумов. Передаточная характеристика и чувствительность фотоэлектрического теневого прибора.— «Оптико-мех. пром-сть», 1970, № 10.
5. В. С. Игнатовский. Влияние формы и положения источника света при измерениях интерференц-компаратором Кестерса. М., Стандартгиз, 1935.
6. R. Landwehr. Lage und Sichtbarkeit von Keilinterferenzen bei instrumenteller Beobachtung.— «Optica Acta», 1959, Bd 6, S. 52.

Поступила в редакцию 5 февраля 1975 г.

УДК 621.378.9

И. С. БАРБАНЕЛЬ, В. В. КУЛИКОВ

(Ленинград)

О ДИФРАКЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СОГЛАСОВАННЫХ ФИЛЬТРОВ

Введение. Устройства согласованной оптической фильтрации в настоящее время хорошо известны и находят широкое применение в различных областях техники. Голографические транспаранты, являющиеся их основным элементом, могут быть охарактеризованы набором параметров [1, 2], рассмотрению одного из которых, а именно, дифракционной эффективности амплитудных голографических согласованных фильтров (ГСФ), и посвящена данная работа.

Транспаранты для устройств согласованной голографической фильтрации [1] имеют неравномерное в плоскости регистрации распределение поля, и строго сформулированные ранее [1] задачи оптимизации их в общем случае успешно разрешаются на ЭВМ стандартными методами нелинейного программирования (в частности, симплекс-методом).

В настоящей статье доказывается, что, по крайней мере, дифракционная эффективность ГСФ может оптимизироваться графоаналитическим методом [1], разработанным ранее для случая равномерно распределенных полей.

Возможность такого утверждения математически доказывается ниже, проверяется экспериментом и объясняется тем фактом, что при оптимизации дифракционной деятельности ГСФ предполагается регистрация последних в режиме «без отсечки», т. е. с сохранением информации обо всем регистрируемом спектре.

Этот режим даже при нелинейности процесса регистрации* обеспечивает меньший уровень нелинейных искажений, нежели режим «с от-

* Использование только линейного участка не позволяет реализовать достижимые значения дифракционной эффективности ГСФ.