

УДК 535.854

ИНТЕРФЕРОМЕТР С ФАЗОВОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ

Ершов И. В.

Представлены результаты разработки интерферометра с фазовой дифракционной решеткой, с помощью которого может быть достигнут единичный контраст изображения. Возможности прибора иллюстрируются на примере исследования нестационарных газодинамических неоднородностей в ударной трубе.

При исследовании прозрачных неоднородностей широко используются интерферометры с дифракционной решеткой [1]. Их преимущество по сравнению с другими схемами сдвиговых интерферометров — повышенная виброустойчивость, относительная легкость настройки и эксплуатации, возможность одновременного получения двух и трехлучевых интерферограмм, теневых и интерференционных картин — делает полезным применение данного типа приборов для изучения сложных газодинамических объектов. В известных схемах интерферометров с амплитудными дифракционными решетками на основе теневых приборов контраст интерференционных полос не превышает 0.64. Несколько ограничена также освещенность интерференционной картины [2]. К тому же при применении данного типа интерферометров для изучения нестационарных газодинамических неоднородностей вследствие влияния вибраций, тепловых потоков, необходимости применения короткоимпульсных источников света и других процессов может происходить ухудшение контраста интерференционной картины. В промышленных условиях газодинамического эксперимента в ряде случаев трубы теневого прибора приходится располагать параллельно газодинамической установке, а следовательно, вводить в световой пучок поворотные зеркала. Для управления шириной и ориентацией интерференционных полос используют дополнительные оптические элементы [3, 4]. Эти факторы также ухудшают качество интерферограмм. Для повышения освещенности и контраста интерференционных картин возможно использование лазерных источников света [5]. В настоящей работе показано, что применение фазовых дифракционных решеток с треугольным штрихом [6] позволяет и с обычными источниками света существенно повысить качество интерференционных картин.

В соответствии с теорией идеального интерферометра с дифракционной решеткой [1, 7] в схеме интерференции первых дифракционных порядков единичный контраст интерференционной картины достигается при применении фазовой дифракционной решетки с симметричными штрихами. При этом освещенность E_{\max} в максимумах интерференционных полос будет выражаться в виде

$$E_{\max} = \frac{4C^2}{\left(\frac{\pi\mu}{k\Delta} - \frac{k\Delta}{\pi\mu}\right)} \left\{ (\cos \pi\mu - \cos k\Delta)^2 + \left(\frac{k\Delta}{\pi\mu} \sin \pi\mu - \sin k\Delta\right)^2 \right\}. \quad (1)$$

Здесь C — постоянная, зависящая от яркости источника света; $k=2\pi/\lambda$ — волновое число; Δ — разность хода световых лучей. Анализ выражения (1) показывает, что в этой схеме интерференции максимальные значения E_{\max} получаются при отношении ширины штриха решетки к ее периоду $\mu=0.75$ и разности фаз $\sigma=k\Delta=\pi$.

В схеме интерференции 0, 1 дифракционных порядков освещенность изображения нулевого дифракционного порядка может быть выражена в виде

$$E_0 = C^2 \left\{ \left[\frac{\pi \mu}{k \Delta} (\cos k \Delta - 1) \right]^2 + \left[\pi + \frac{\pi \mu}{k \Delta} (\sin k \Delta - k \Delta) \right]^2 \right\}. \quad (2)$$

Освещенность изображения первого дифракционного порядка

$$E_1 = \frac{1}{4} E_{\max}. \quad (3)$$

В этой схеме интерференции освещенность в максимумах и минимумах интерференционных полос может быть представлена в виде

$$E_{\max} = (E_0 + E_1) (1 \pm K). \quad (4)$$



Рис. 1. Интерферограммы исходной настройки, полученные с помощью интерферометра с амплитудной дифракционной решеткой (а) и с помощью интерферометра с фазовой дифракционной решеткой (б).

Она меняется от максимальных значений при $\sigma=0$ и $\mu=0$ до минимальных — при $\sigma=\pi$ и $\mu=0.75$. При этом контраст K интерференционных полос выражается в виде

$$K = \frac{2}{\sqrt{E_0/E_1} + \sqrt{E_1/E_0}}. \quad (5)$$

Расчет выражений (1)—(5) показывает, что применение фазовой дифракционной решетки с симметричным треугольным штрихом, у которой $\mu=0.75$, а дополнительная разность хода, вносимая в максимуме штриха, составляет $1/2\lambda$ (соответственно разность фаз $\sigma=\pi$), дает возможность для обеих интерференционных схем (+1, -1 и 0, 1 дифракционных порядков) интерферометра с дифракционной решеткой получить контраст, близкий к единице. При этом освещенность интерференционной картины будет для интерференционной схемы +1, -1 дифракционных порядков приблизительно в 2.9 раза, а для интерференционной схемы 0, 1 дифракционных порядков приблизительно в 1.7 раза выше, чем в соответствующих схемах интерферометра с амплитудной дифракционной решеткой.

Проведено экспериментальное исследование интерферометра с фазовой дифракционной решеткой на основе теневого прибора ИАБ-451 с вышеуказанными параметрами. Коллиматорная и приемная части теневого прибора были расположены по Z-образной схеме и имели дополнительные поворотные зеркала. Настройка интерференционной картины по ширине и направлению полос осуществлялась введением в оптическую схему прибора астигматического элемента, дополнительных дифракционных решеток или установкой в рабочем поле прибора оптических клиньев [1, 3, 4].

На рис. 1 представлены две интерферограммы исходной настройки при интерференционной схеме первых дифракционных порядков, полученные

в одинаковых условиях (источник света, фотопленка). Хотя в первом случае (рис. 1, а) интерференционная картина получена с меньшим числом полос (соответственно меньшая приблизительно в 2 раза расфокусировка теневого прибора), ее контраст незначителен. Интерференционные полосы «смазаны» и видны неполностью. Во втором случае (рис. 1, б) интерферограмма имеет нормальные контраст и освещенность.

Аналогичные результаты получены и в условиях газодинамического эксперимента. С помощью интерферометра с фазовой дифракционной решеткой проведено исследование процесса обтекания полусферы газовым потоком за ударной волной в ударной трубе [7]. Интерферограмма, полученная с использованием интерференционной схемы первых дифракционных порядков, представлена на рис. 2. Она имеет нормальные контраст интерференционных полос и освещенность. Одновременно с интерферограммой процесса получена его теньевая картина. По изломам интерференционных полос хорошо просматривается структура газового потока за ударной волной. На тенеграмме значительно четче визуализируется скачок уплотнения. Уточнение координат скачка уплотнения с помощью теневой картины процесса при расшифровке интерферограммы позволило существенно умень-

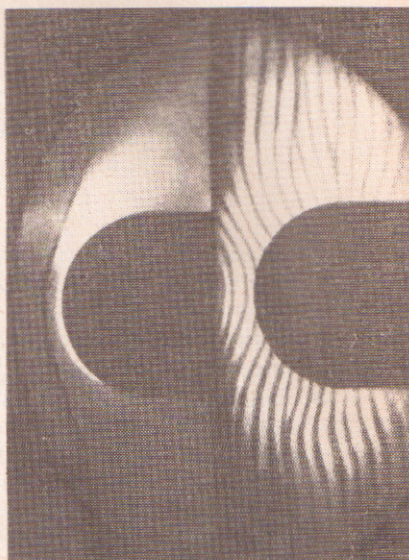


Рис. 2. Интерферограмма процесса обтекания полусферы газовым потоком за ударной волной.

шить погрешность определения плотности газового потока за скачком уплотнения.

Применение интерферометра с фазовой дифракционной решеткой позволило улучшить характеристики интерференционных картин и получить нормальные по контрасту и освещенности интерферограммы нестационарных газодинамических неоднородностей при использовании обычных источников света, Z-образном расположении коллиматорной и приемной частей теневого прибора, наличии дополнительных отражающих поверхностей и применении устройств для управления шириной и направлением интерференционных полос.

Литература

- [1] Васильев Л. А., Ершов И. В. Интерферометр с дифракционной решеткой. М., 1976.
- [2] Васильев Л. А., Ершов И. В., Соколенко Э. В., Яничкин В. И. — ДАН СССР, 1967, т. 175, № 6.
- [3] Спорник Н. М., Яничкин В. И. — ОМП, 1974, № 8.
- [4] Комиссарук В. А., Яничкин В. И. — ОМП, 1972, № 11.
- [5] Комиссарук В. А., Мартынов В. Н., Менде Н. П. — ПТЭ, 1979, № 1.
- [6] Васильев Л. А., Ершов И. В. — А. с. 272603 (СССР). Оpubл. в Б. И., 1970, с. 19.
- [7] Васильев Л. А., Ершов И. В. — Опт. и спектр., 1974, т. 36, в. 6, с. 1193.

Поступило в Редакцию 26 июня 1985 г.