

07

Метод муаров в интерференционном изучении структуры вихревого пламени

© В.П. Самсонов, И.В. Самсонова

Сургутский государственный университет
E-mail: svp@iff.surgu.ru

Поступило в Редакцию 20 сентября 2004 г.

Предложен способ применения муаровых изображений для расширения возможностей интерференционных методов визуализации вихревых течений в пламени. Получены муаровые аналоги интерференционных картин пламени, соответствующие настройке интерферометра на полосы конечной и бесконечной ширины. Обнаружено, что муаровые аналоги идентичны оригиналам интерференционных изображений. Показано, что основными преимуществами метода муаров являются дешевизна эксперимента и возможность перестройки интерференционного изображения, полученного в данный момент времени для одной и той же нестационарной оптической неоднородности.

Основными трудностями использования интерференционных методов при экспериментальном исследовании структуры нестационарных и неоднородных течений являются трудоемкость юстировки интерферометра и необходимость его перенастройки для конкретных задач в течение одного и того же эксперимента. В работе [1] отмечается, что интерференционное изображение нестационарной оптической неоднородности, полученное в текущий момент времени, позволяет правильно рассчитать распределение показателя преломления, если оно не имеет экстремумов. Вихревые структуры, формирующиеся в потоке, являются причиной появления сложных распределений скоростей, температур и давлений, которые влияют на распределение показателя преломления в среде. Разность фаз $\Delta\varphi$ интерферирующих световых волн является интегральной величиной: $\Delta\varphi = [2\pi \int_0^l (n_0 - n) dx] / \lambda$, где λ — длина волны света, n_0 и n — показатели преломления среды в оптической неоднородности и в окружающей атмосфере, l — геометрическая длина пучка луча. Понятно, что для вихревого течения точное определение направления локального изменения разности фаз $\Delta\varphi$ по интерференци-

онному изображению в точке, где интерференционные линии образуют локальные пятна или „седловины“, возможно лишь при мгновенной перенастройке интерферометра с полос конечной ширины на полосу бесконечной ширины [2]. В условиях одного опыта это невозможно. Применение метода муаров позволяет решить эту проблему. Метод муаров для перестройки интерференционных изображений повторяет метод двойной экспозиции для получения голограммы. Идея метода заключается в получении двух интерференционных изображений — опорного и объектного, полученных при одной и той же настройке интерферометра на систему полос конечной ширины. Одно из интерференционных изображений получают при отсутствии оптической неоднородности, а затем совмещают с интерференционным изображением самой оптической неоднородности. Сдвигая одно изображение относительно другого, просматривают результирующее изображение на просвет. Можно добиться перестройки положения интерференционных полос на результирующем изображении таким образом, чтобы получить необходимую информацию о направлении изменения сдвига фаз интерферирующих световых волн в данной точке оптической неоднородности. На рис. 1 представлены примеры опорного (фотография 1) и объектного (фотография 2) интерференционных изображений. Для получения объектного интерференционного изображения использовали пламя свечи, помещаемое в рабочее поле поляризационного интерферометра сдвига, собранного на базе теневого прибора ИАБ-451. Настройка интерферометра — произвольная, не требующая точной юстировки и требований к отсутствию вибраций рабочего стола и т.п. На рис. 1 небрежность настройки интерферометра иллюстрируется тем, что интерференционные полосы имеют различную ширину, произвольно ориентированы и не являются прямыми линиями. Единственное требование к настройке интерферометра заключается в том, чтобы число интерференционных полос было достаточно большим. В этом случае результирующее муаровое интерференционное изображение будет достаточно подробным, а абсолютная погрешность в определении геометрической разности хода световых лучей будет равна ширине интерференционной полосы на опорном изображении.

На рис. 2 показаны примеры интерференционных изображений пламени, полученные при наложении фотографий 1 и 2, представленных на рис. 1. Первая из фотографий соответствует настройке интерферометра на систему полос конечной ширины. Видно, что в области пламени интерференционные полосы отклоняются вниз. По направлению откло-

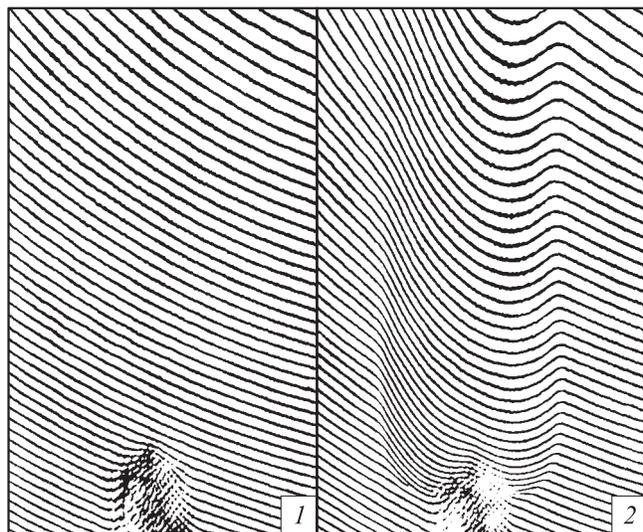


Рис. 1. „Опорное“ (фотография 1) и „объектное“ (фотография 2) интерференционные изображения пламени.

нения интерференционных полос видно, что разность фаз световых волн является непрерывной функцией, имеющей только один максимум в центре пламени. Вторая фотография соответствует настройке интерферометра, при которой интерференционные полосы отклоняются вверх. Фотографии 3 и 4 являются иллюстрациями настройки интерферометра на темную или светлую полосы бесконечной ширины. Сравнение муаровых интерференционных изображений пламени с интерференционными изображениями пламени, полученными после перенастройки интерферометра, показывает их полную идентичность.

Недостатком муарового интерференционного изображения является его дискретность (мозаичность) и связанное с этим появление дополнительной погрешности при вычислении разности фаз световых волн в исследуемой точке оптической неоднородности. При настройке интерферометра на систему полос конечной ширины разность фаз световых волн определяют по формуле $\Delta\varphi = 2\pi \cdot \Delta x/x_0$. Здесь Δx и x_0 — ширина интерференционной полосы и ее смещение от начального положения в исследуемой точке оптической неоднородности. Рассчи-

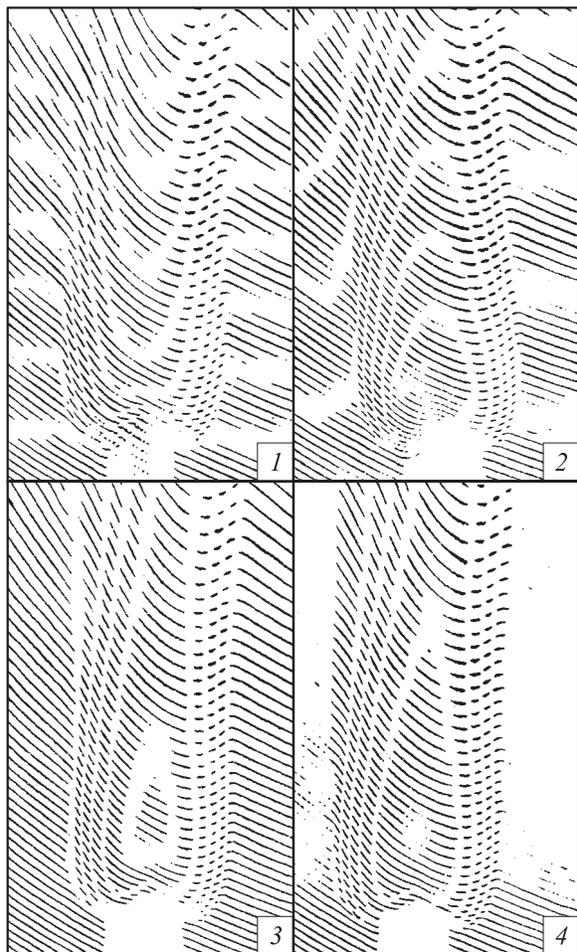


Рис. 2. Муаровые интерференционные изображения пламени, соответствующие настройке интерферометра на полосы конечной ширины (фотографии 1 и 2) и бесконечной ширины (фотографии 3 и 4).

тывая максимальный сдвиг фаз световых волн в центре пламени по фотографиям 1 и 2 на рис. 2, получаем $\Delta\varphi = 9\pi$. Тот же результат получаем, используя фотографии 3 и 4 на рис. 2. Максимальная

разность фаз рассчитывается по соотношению $\Delta\varphi = \pi \cdot n$, которое справедливо при настройке интерферометра на полосу бесконечной ширины. Здесь n — порядок интерференции в исследуемой точке. Очевидно, что дополнительная относительная погрешность в вычислении $\Delta\varphi$ по порядку величины равна сумме относительных погрешностей при вычислении Δx и x_0 . Из фотографий 1 и 2 на рис. 1 видно, что она не превышает расстояния между интерференционными линиями на опорном, объектном интерференционных изображениях и примерно равна $7 \div 8\%$. Фотографии на рис. 1 приведены для иллюстрации. При необходимости дополнительная относительная погрешность, вносимая муаровым интерференционным изображением, может быть уменьшена до величины, меньшей 0.1%.

Список литературы

- [1] Хаух В., Григуль У. Оптические методы в теплопередаче. М.: Мир, 1973. 240 с.
- [2] Аbruков С.А. Теневые и интерференционные методы исследования оптических неоднородностей. Казань: Изд-во Казанского университета, 1962. 83 с.