

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов Л. А. Волны в случайно-неоднородных средах.— М.: Наука, 1975.
2. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику.— М.: Мир, 1967.
3. О'Нейл Э. Введение в статистическую оптику.— М.: Мир, 1966.
4. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере.— М.: Наука, 1967.
5. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики.— М.: Наука, 1966.

Поступило в редакцию 13 января 1981 г.

УДК 629.7.018.1 : 621.373.8

В. В. ИВАНОВ, Ю. Р. ТАШЕВСКИЙ
(Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕЩЕНИЙ СВЕТОВОГО ПУЧКА В ТУРБУЛЕНТНОЙ СРЕДЕ В УСЛОВИЯХ СВЕРХЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

Применение ЛДИС для диагностики газовых потоков в некоторых случаях, как известно, осложняется особенностями распространения лазерных пучков в турбулентно-неоднородной среде. Для сверхзвуковых аэродинамических труб (АТ) с камерами Эйфеля, имеющих сравнительно большие поперечные размеры рабочих частей (> 100 см), эта проблема является наиболее серьезной из-за сильных турбулентных течений в зонах, примыкающих к ядру потока.

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований смещений оси лазерного пучка, прошедшего рабочую часть сверхзвуковой АТ с камерой Эйфеля.

Случайные смещения пучка в двух взаимно перпендикулярных направлениях регистрировались с помощью двумерного позиционно-чувствительного фотоэлемента (ПЧФ) — инверсного фотодиода. В качестве источника излучения использовался одномодовый аргоновый лазер с длиной волны $\lambda = 514,5$ нм и мощностью пучка 0,1 Вт. Установленная за лазером фокусирующая оптическая система формировала на расстоянии 4 м в области размещения ПЧФ пучок диаметром 0,5 мм (на уровне $e^{-0,5}$). Запись сигналов по двум координатам в аналоговом виде осуществлялась через усилители на магнитную ленту двухканального магнитофона. Последующая обработка сигналов, записанных на замкнутую магнитную ленту при средней длительности реализации 10 с, велась на анализаторе гармоник низких частот С5-3. Полученные спектры записывались на самописце уровня электрических колебаний Н110. Параллельно сигналы обрабатывались на аналоговом корреляторе, с которого снимались показания среднеквадратичных значений, и определялась нормированная временная корреляционная функция.

В процессе эксперимента проверялась эффективность использования защитных экранов на трассе лазерного пучка. Экраны, выполненные из металлических труб диаметром 30 мм, устанавливались с обеих сторон от потока и экранировали участки трассы от стенок рабочей части до зоны смещения (для устранения влияния на ядро потока).

Исследования поперечных смещений центра пучка проводились при числах M потока от 0,9 до 3,5. При этом особое внимание уделялось снижению влияния вихрей на элементы конструкции оптической системы.

Один из основных результатов эксперимента представлен на рис. 1, где показаны среднеквадратичные отклонения центра пучка для горизонтальных (см. рис. 1) смещений. При этом обращает на себя внимание высокий уровень отклонений пучков ($\sim 0,2-0,25$ мм) для всех режимов работы АТ (точки 1). Применение защитных экранов, которые, однако, не устраняют влияния зоны смещения, позволяет уменьшить степень случайных отклонений пучков от 2 до 7 раз в диапазоне чисел M от 2 до 3. Данное обстоятельство указывает на значительное влияние турбулентных течений в зоне внешней части камеры Эйфеля. Изображенные на рисунке сплошные кривые представляют приближенную оценку влияния зоны смещения на величину среднеквадратичных отклонений в зависимости от числа M потока и рассчитаны по формуле

$$\sigma \sim (1 + 0,2M^2)^{-2,25} M. \quad (1)$$

Оценка (1) сделана в предположении, что дисперсия смещений пучка пропорциональна структурной постоянной показателя преломления среды C_n^2 [1], значение которой определяется известным соотношением [2]

$$C_n^2 = \text{const} (P/T^2)^2 \langle (T_1 - T_2)^2 \rangle / \rho^{2/3}. \quad (2)$$

Здесь $\bar{P} = P_{ст}$ — статическое давление, $\bar{T} = T_{ст}$ — статическая температура ($T_1 -$

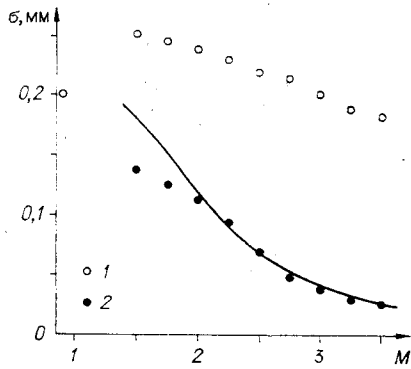


Рис. 1.

при этом возрастает при увеличении M от 0,75 до 2,8 мс для горизонтальных смещений при отсутствии экрана (рис. 2, а) и соответственно от 0,25 до 1,4 мс при наличии экрана (рис. 2, б); для вертикальных смещений соответственно от 0,8 до 1,8 см и от 0,2 до 0,35 мс. Таким образом, применение экранов позволяет в 2—3 раза уменьшить временной интервал корреляции смещений лучка.

На рис. 3 показан безразмерный нормированный частотный спектр флуктуации положения пучка при числе $M=2$ для горизонтальных (а) и вертикальных (б) отклонений при наличии (2) и отсутствии (1) экранов. Исследования данного спектра и спектров, полученных для других режимов работы АТ, указывают на их несовпадение для горизонтальных и вертикальных отклонений. Положение максимума спектра зависит от числа M потока и изменяется от 300 при $M=0,9$ до 1300 Гц при $M=2$. Установка экранов незначительно изменяет положение максимума.

Исследование частотных спектров смещений пучков в некоторых практических приложениях, например в системах ЛДИС, может иметь большое значение для правильной интерпретации экспериментальных результатов.

T_2) — реализация случайного поля перепада температур между двумя точками с расстоянием ρ между ними.

Полагая, что толщина зоны смешения, как и характер турбулентности в ней, не зависит от числа M , можно допустить

$$\langle (T_1 - T_2)^2 \rangle \sim (T_0 - T)^2, \quad (3)$$

где T_0 — температура торможения газа, $T = T_{ст}$ на границе потока и зоны смешения. Пользуясь известными газодинамическими соотношениями [3], далее с учетом (2) и (3) легко получить оценку (1).

Нормированные временные автокорреляционные функции горизонтальных смещений пучка при различных значениях чисел M представлены на рис. 2. Видно, что корреляция смещений зависит от числа M . Временной интервал корреляции (на уровне 0,5)

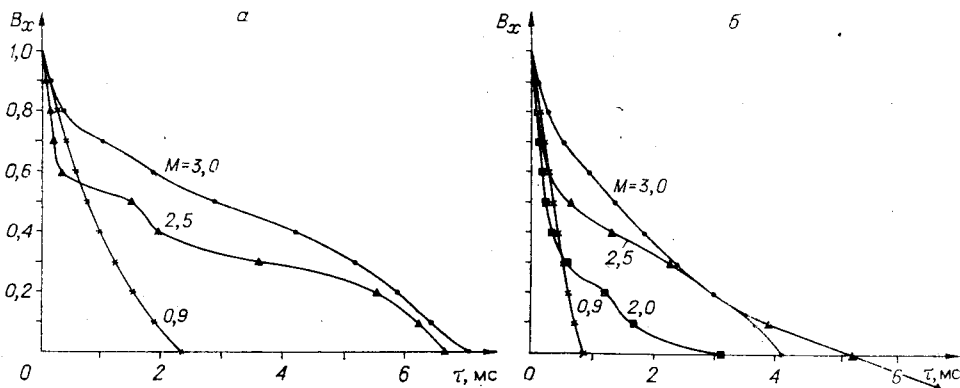


Рис. 2.

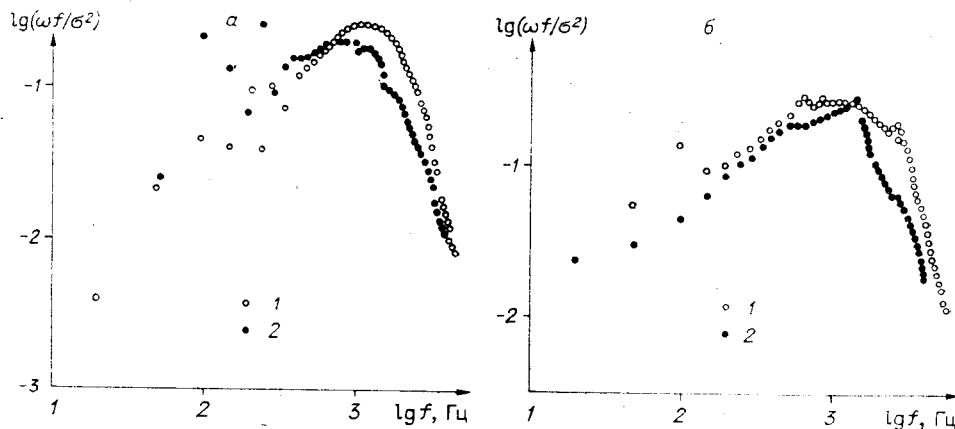


Рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кон А. И., Миронов В. Л., Носов В. В. Флуктуации центров тяжести световых пучков в турбулентной атмосфере.— Изв. высш. учебн. заведений. Сер. Радиофизика, 1974, т. XVII, № 10.
2. Татарский В. И. Распространение волн в турбулентной атмосфере.— М.: Наука, 1967.
3. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика.— М.: Наука, 1969.

Поступило в редакцию 13 января 1981 г.

РЕФЕРАТЫ

УДК 537.517.4 : 532.574 : 621.375.826

Методика и результаты исследования перехода к турбулентности в простых гидродинамических течениях. Журавель Ф. А., Львов В. С., Нестерихин Ю. Е., Предтеченский А. А., Соболев В. С., Уткин Е. Н., Черных А. И. *Автометрия*, 1982, № 3.

Представлены методика и результаты экспериментального изучения перехода к турбулентности в круговом течении Куэтта. Временная зависимость азимутальной проекции скорости измерялась лазерным доплеровским измерителем в некоторой точке r , результаты измерений заносились в память ЭВМ М-4030, и затем вычислялся спектр мощности. Анализ эволюции спектра с ростом числа Рейнольдса показал, что картина зарождения турбулентности сочетает в себе черты как представления Ландау, так и представления о стохастическом аттракторе. Ил. 9, библиогр. 1.

УДК 621.39.1 : 621.378 : 532.57

Потенциальные возможности лазерной доплеровской анемометрии. Соболев В. С. *Автометрия*, 1982, № 3.

Рассмотрены ограничения лазерной доплеровской анемометрии по точности измерений, обусловленные дробовым шумом фотоприемника, случайным расположением рассеивающих частиц в пространстве и градиентом скорости по сечению измерительного объема. Определено смещение оценки средней скорости, получающееся при исследовании турбулентных потоков, и показано, что его можно исключить, если осреднить величины, обратные измеренным значениям скорости. Ил. 4, библиогр. 15.

УДК 532.574.082.54

Лазерная доплеровская анемометрия с селекцией когерентной составляющей оптического сигнала. Дубнищев Ю. Н., Журавель Ф. А., Павлов В. А. *Автометрия*, 1982, № 3.

Показана возможность снижения уровня фазовых шумов в ЛДА с селекцией когерентной составляющей оптического сигнала. Для выделения когерентной составляющей сигнала применен пространственно-частотный фильтр, согласованный с пространственным распределением рассеивающих частиц в исследуемой среде. Ил. 3, библиогр. 6.

УДК 532.574.082.54

Исследование метрологических характеристик оптической схемы доплеровского анемометра с гауссовыми пучками. Ринкевичюс Б. С., Смирнов В. И., Соколова Е. Л. *Автометрия*, 1982, № 3.

Для оптической схемы ЛДА с гауссовыми пучками проведен расчет методических ошибок при измерениях средней скорости и степени турбулентности, связанных с кривизной волновых фронтов гауссовых пучков, и проанализирована зависимость этих ошибок от расфокусировки схемы. Анализ полученных результатов указывает на наличие оптимального угла пересечения пучков, составляющего примерно $109,4^\circ$, при котором соответствующие методические ошибки минимальны. Показано, что аппаратная функция как сфокусированной, так и расфокусированной схемы ЛДА с идеальными неограниченными гауссовыми пучками с хорошей точностью является гауссовой. Табл. 1, ил. 6, библиогр. 9.

УДК 532.574.7

Измерение поля скорости потоков. Белоусов П. Я., Дубнищев Ю. Н., Пальчикова И. Г. *Автометрия*, 1982, № 3.

Показана возможность реализации метода измерения поля скорости, позволяющего получать в реальном масштабе времени изображение исследуемой области таким, чтобы интенсивность светового сигнала в каждой точке изображения являлась известной функцией значения локальной скорости.