

В схеме регистрации использовались следующие серийные приборы: спектроанализатор С4-25, квадратичный вольтметр ВЗ-28А, интегрирующий вольтметр В2-23, осциллограф С1-15.

В качестве примера на рис. 2 приводятся условные ФПВ пульсаций скорости $P(v)$ при различных значениях концентрации. Величины скорости и концентрации нормированы на их средние значения в точке измерения. Кривые относятся к точке, находящейся на расстоянии 20 калибров от среза сопла и 2,6 калибра от оси струи, истекающей из сопла диаметром 5 мм, профиль которого выполнен по Витопинскому. Средние скорости на срезе сопла и в точке измерения были равны соответственно 48,6 и 4,2 м/с. Средняя скорость измерялась трубкой Пито.

В заключение следует отметить, что изложенная выше методика может быть, по-видимому, использована для измерения совместных функций плотности распределения вероятности пульсаций скорости и других скалярных величин в турбулентных течениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иевлев В. М. Турбулентное движение высокотемпературных сред.— М.: Наука, 1975.
2. Монин А. С. Уравнения для конечномерных распределений поля турбулентности.— ДАН, 1967, т. 177, № 5.
3. Безуглов В. А. Исследование совместной функции распределения турбулентных пульсаций скорости и концентрации примеси.— Труды МФТИ. Аэромеханика. Процессы управления. Долгопрудный: изд. МФТИ, 1974.
4. Щербина Ю. А. Многочастичные доплеровские измерители скорости и концентрации: Учебное пособие/Под ред. чл.-кор. АН СССР В. М. Иевлева.— Долгопрудный: изд. МФТИ, 1978.

Поступило в редакцию 27 января 1981 г.

УДК 532.574.7

П. Я. БЕЛОУСОВ
(Новосибирск)

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЛОКАЛЬНОЙ СКОРОСТИ НА ОСНОВЕ СКАНИРУЕМОГО ОПТИЧЕСКОГО ЧАСТОТНОГО ДИСКРИМИНАТОРА

Применение методов оптической обработки информации с использованием оптических частотных дискриминаторов (ОЧД) позволяет отказаться от сложных электронных устройств обработки сигналов в лазерных доплеровских анемометрах и работать с узкополосными низкочастотными фотоприемниками. Измерители с оптической обработкой сигнала в отличие от гетеродинных систем с электронными процессорами свободны от влияния фазовых шумов, снижающих точность измерения скорости. Устройства с ОЧД могут работать в широком динамическом диапазоне интенсивностей световых сигналов, в том числе при малых уровнях, когда традиционные лазерные доплеровские анемометры функционируют только с корреляторами фотоотчетов.

В [1, 2] сообщается об измерителе локальной скорости с ОЧД на основе конфокального интерферометра, работающего в режиме непрерывного слежения за частотой светового сигнала. Недостаток таких измерителей заключается в необходимости применения систем автоподстройки частоты (АПЧ), представляющих собой достаточно сложные электронные устройства. В данной работе сообщается об измерителе скорости, в котором формирование зондирующего когерентного оптического сигнала осуществляется сканирующим ОЧД, одновременно выполняющим частотную дискриминацию рассеянного исследуемым объектом светового пучка. Измеритель, работающий по такому принципу, не нуждается в системах АПЧ.

Определим форму сигнала на выходе измерителя, используя в качестве дискриминатора многолучевой интерферометр. Интенсивность зондирующего исследуемый объем лазерного пучка, сформированного ОЧД, задается формулой [1]

$$I_1 = I_0 [1 + A^2(v - v_0)^2]^{-1}. \quad (1)$$

Здесь I_0 — интенсивность лазерного пучка, v — частота лазера, v_0 — частота настройки интерферометра, A — постоянная, характеризующая аппаратную функцию многолучевого интерферометра. Интенсивность рассеянного в выбранном направлении света обусловлена $I_1 |s|^2$, где s — функция рассеяния. Частота рассеянного света равна $v + \Delta v_D$, Δv_D — доплеровский сдвиг. После частотной дискриминации

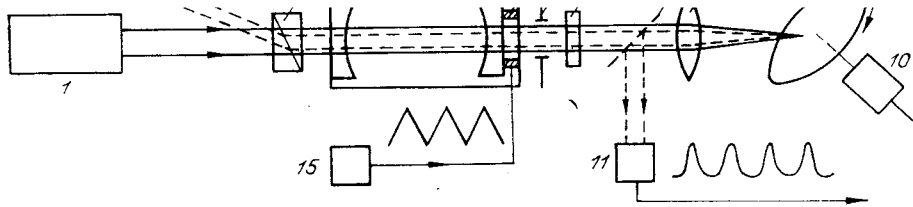


Рис. 1.

рассеянного пучка интенсивность его на выходе многолучевого интерферометра

$$I_2 = I_0 |s|^2 [1 + A^2(v - v_0)^2]^{-1} [1 + A^2(v - v_0 + \Delta v_D)^2]^{-1}. \quad (2)$$

Найдем максимум $I_2(v - v_0)$:

$$I_{2\max}(v - v_0) = \begin{cases} I_0 |s|^2 / [1 + (A^2 \Delta v_D^2 / 4)]^2, & \Delta v_D < 2/A; \\ I_0 |s|^2 / (A^2 \Delta v_D^2), & \Delta v_D \geq 2/A. \end{cases} \quad (3)$$

При непрерывном сканировании длины интерферометра либо длины резонатора лазера пиковое значение переменного сигнала на выходе ОЧД описывается формулой (3).

Для измерения доплеровского смещения частоты рассеянного света может быть использовано также среднее значение I_2 . При непрерывном сканировании длины интерферометра или лазера с величиной изменения длины $\Delta L \gg \lambda/2$ (λ — длина волны излучения лазера) выражение для среднего значения I_2 имеет вид

$$\begin{aligned} I_{2\text{ср}} &= \frac{1}{\Delta v_c} \int_{-\Delta v_c}^{+\Delta v_c} I_2(v - v_0) d(v - v_0) \approx \frac{1}{\Delta v_c} \int_{-\infty}^{+\infty} I_2(v - v_0) d(v - v_0) = \\ &= \pi I_0 |s|^2 / 2F \left(1 + \frac{A^2}{4} \Delta v_D^2 \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь F — острота интерферометра, Δv_c — величина свободного спектрального интервала многолучевого интерферометра. Откуда $\Delta v_D = (2/A) [\pi I_0 |s|^2 / 2F I_{2\text{ср}} - 1]^{1/2}$ или при измерении пикового значения сигнала

$$\Delta v_D = \begin{cases} (2/A) [(I_0 |s|^2 / I_{2\max})^{1/2} - 1]^{1/2}, & \Delta v_D < 2/A; \\ [I_0 |s|^2 / A^2 I_{2\max}]^{1/2}, & \Delta v_D \geq 2/A. \end{cases}$$

Соответствующая компонента вектора скорости находится из известной формулы (3):

$$\Delta v_D = 2\pi(\mathbf{K}_s - \mathbf{K}_i) \mathbf{v},$$

\mathbf{K}_i — волновой вектор падающей волны, \mathbf{K}_s — волновой вектор рассеянной волны.

На рис. 1 приведена схема устройства, осуществляющего измерение скорости объекта, где 1 — лазер, 2 — призма Рашона, 3 — конфокальный интерферометр, 4 — пьезокерамическая шайба, 5 — апертурная диафрагма, 6 — фазовая пластинка, 7 — полупрозрачное зеркало, 8 — фокусирующая линза, 9 — исследуемый объект (вращающийся диск), 10 — тахогенератор, 11 — измеритель интенсивности рассеянного света, 12 — фотоприемник, 13 — интегратор, 14 — осциллограф, 15 — генератор пилообразного напряжения.

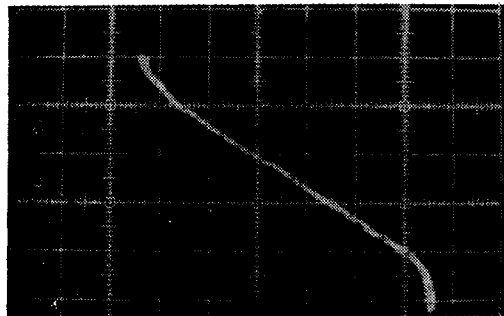


Рис. 2.

В схеме использовался одночастотный лазер мощностью 0,2 мВт и 200-миллиметровый конфокальный интерферометр. Пределы изменения линейной скорости диска в точке измерения составляли 0—30 м/с. Ко-

эффицент рассеяния $|s|^2$ был постоянен при времени интегрирования $\tau \sim 1/n$ (n — число оборотов вращающегося диска в секунду).

На рис. 2 приведена экспериментально полученная дискриминационная кривая измерительного устройства. Кривая снята с экрана осциллографа. В вертикальном направлении луч осциллографа управлялся сигналом с тахогенератора, а в горизонтальном — сигналом с интегратора 13. Сигнал с тахогенератора пропорционален скорости движения объекта, а сигнал с интегратора — I_{2cp} . Начало кривой соответствует нулевой скорости, а конец — скорости 30 м/с.

При определении средней скорости величина $|s|^2$ для заданной среды может считаться постоянной, что дает возможность обходиться измерением I_{2max} либо I_{2cp} с помощью вольтметра, подключенного к выходу фотоприемника. Устройство позволяет измерять динамику изменения скорости, если частоты пульсаций скорости не превышают $1/\tau$, где τ — такое время усреднения $I_0|s|^2$, при котором отклонение $I_0|s|^2$ от средней величины удовлетворяет выбранной точности измерения пульсаций скорости.

В заключение автор выражает благодарность Ю. Н. Дубнищеву за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов П. Я., Дубнищев Ю. Н., Павлов В. А. Лазерный измеритель скорости с применением оптического дискриминатора доплеровской частоты.— *Опт. и спектр.*, 1977, т. 43, с. 775.
2. Belousov P. Ya., Dubnistchev Yu. N. The Application of an Optical Doppler Frequency Discriminator in a Laser Velocimeter.— *Optics and Laser Technology*, 1977, N 5, p. 229.
3. Лазерные доплеровские измерители скорости/Ю. Г. Василенко и др.— Новосибирск: Наука, 1975, с. 10.

Поступило в редакцию 5 января 1981 г.

УДК 621.373.826 : 62

А. Р. ЕВСЕЕВ
(Новосибирск)

ЛАЗЕРНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ СО СВЕТОВОДОМ

В настоящее время ЛДИС широко внедряются в практику гидроаэродинамического эксперимента благодаря таким преимуществам, как бесконтактность и широкий диапазон измеряемых скоростей. Применение лазерных доплеровских анемометров для исследований двухфазных или многофазных потоков ограничивается не размерами диспергированной фазы, а условием оптической прозрачности среды, которое выполняется до объемной концентрации порядка 3—5%.

Лазерные системы с волоконными световодами в отличие от обычных ЛДИС успешно решают задачу измерения скоростей в оптически непрозрачных средах типа крови [1], а также в высококонцентрированных газожидкостных потоках и двухфазных потоках газа или жидкости с твердыми частицами [2]. Эффект измерения скорости в оптически непрозрачном (в целом) потоке достигается путем помещения световода (или пучка световодов) в заданную малую локальную область потока. Причем информация о скорости движения частиц берется из пространства в непосредственной близости от торца световода [3]. Учитывая достаточно высокую степень когерентности лазерного луча, прошедшего волоконный световод [4], можно предположить, что все основные схемы ЛДИС могут быть практически реализованы с волоконными световодами.

ЛДИС с одним волокном (рис. 1), работающий в режиме с опорным пучком, применен для измерения скорости всплывающих воздушных пузырьков в глицерине. Луч лазера 1 проходит через отверстие в зеркале 2, установленном под углом к направлению луча, и объективом 3 вводится в световод 4. Волоконный световод длиной 12 м с прямыми торцами и диаметром светопередающей сердцевинки 50 мкм (диаметр оболочки 150 мкм)

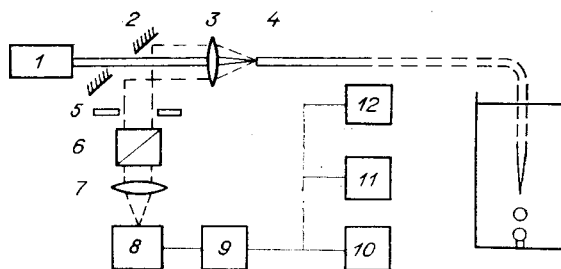


Рис. 1.