

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 532.57

**Ю. Н. ДУБНИЩЕ*, В. П. КОРОНКЕВИЧ, В. С. СОБОЛЕВ,
 А. А. СТОЛПОВСКИЙ, Е. Н. УТКИН, Н. Ф. ШМОЙЛОВ**

(Новосибирск)

**ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ
 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ДОППЛЕРА**

Основным средством исследования турбулентных потоков жидкостей и газов является термоанемометр, однако такие его недостатки, как возмущение потока и низкая точность при измерениях в жидкостях, обусловленная загрязнением датчика, заставили искать новые пути. Свободными от указанных недостатков являются измерители скорости, сообщения о которых появились в последнее время [1—6]. Они основаны на оптическом эффекте Допплера и работают следующим образом. Луч когерентного света направляется в исследуемый поток и фокусируется в интересующей исследователя точке. При наличии в потоке естественных загрязнений или специально добавляемых частиц происходит рассеяние света. Допплеровский сдвиг частоты рассеянного света однозначно зависит от скорости частиц и, следовательно, от скорости потока. Сигнал доплеровской частоты выделяется путем оптического гетеродинирования. Если направление первичного луча перпендикулярно направлению мгновенной скорости потока, как известно, связана с частотой f_d доплеровского сигнала следующим образом:

$$v = \frac{f_d \lambda}{\cos \varphi},$$

где λ — длина волны первичного луча в среде исследуемого потока; φ — угол между направлением вектора скорости и направлением используемого отраженного луча.

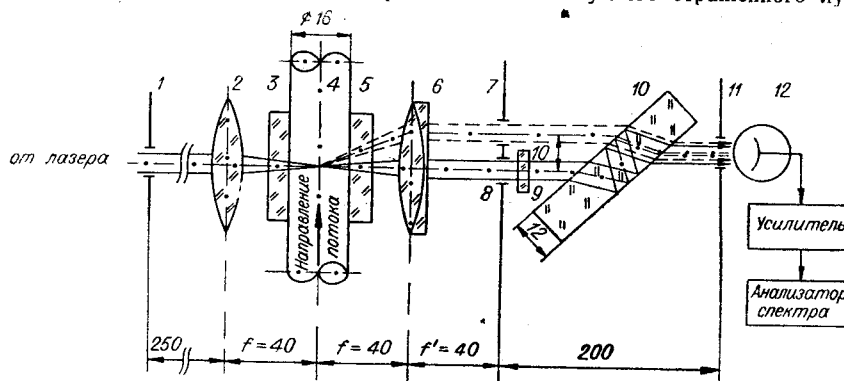


Рис. 1.

Нами предложена и исследована схема (рис. 1) измерителя скорости в потоке жидкости, содержащая в сравнении с известными минимум оптических элементов и исключительно простая в юстировке. Оптическая часть схемы устойчива к механическим вибрациям. Луч света гелий-неонового лазера, работающего на одном поперечном типе колебаний, проходит диафрагму 1 и фокусируется линзой 2 в точку потока, скорость в которой необходимо определить. Затем луч проходит плоскопараллельные ок-

на 3 и 5, встроенные в стенку трубы 4 с исследуемым потоком воды. Центральная часть пучка направляется через объектив 6, диафрагму 8, поляризатор 9, светоделитель 10 и полевую диафрагму 11 на фотокатод фотоумножителя. Этот пучок претерпевает двойное отражение в светоделителе 10. Часть света, рассеянная на естественных загрязнениях жидкости, полностью заполняет апертуру линзы 6 и, ограниченная диафрагмой 7, проходит пластинку 10, где совмещается с прямым пучком, играющим роль референтного.

Поляризатор 9 встроен в схему для выравнивания интенсивностей референтного и рассеянного пучков. Совмещение этих пучков для получения биений оптических частот достигается поворотом пластинки 10. Фотоэлектронный

умножитель как квадратичный детектор выделяет сигнал доплеровской частоты, которая пропорциональна мгновенной скорости потока в исследуемой точке. Сигнал доплеровской частоты поступает либо на узкополосный усилитель, либо на широкополосный усилитель и анализатор спектра.

В эксперименте применялся лазер типа ЛГ-75 с длиной волны излучаемого света 0,63 мкм. Пространственное разрешение для описанной схемы определяется цилиндрической областью с диаметром порядка 20 мкм и длиной 100 мкм. Для осуществления пространственной когерентности интерферирующих пучков диаметры диафрагм 7 и 8, расположенных в задней фокальной плоскости объектива 6, составляют 1 мм. Диаметр полевой диафрагмы, ограничивающей катод ФЭУ, равен 0,5 мм.

В качестве узкополосных усилителей использовались усилители вольтметров типа В6-1 или В6-2; для наблюдения и оценки ширины спектра применялся анализатор С4-8 с усилителем УЗ-7А. В качестве фотоприемника был использован фотоумножитель типа ФЭУ-55.

В процессе эксперимента по шкале частот селективного вольтметра определялась средняя частота доплеровского спектра. Используя ее значение, можно определить среднюю скорость потока в исследуемой точке. Таким образом нами был снят профиль скоростей по сечению трубы с исследуемым потоком. При этом сама труба перемещалась относительно оптической системы. Погрешность измерения по нашей оценке равна примерно 3%.



Рис. 2.

С помощью анализатора спектра было установлено уширение спектра доплеровского сигнала с увеличением скорости. Это уширение объясняется в основном повышением турбулентности потока жидкости, а также уменьшением времени пролета сечения пучка рассеивающими частицами. Типичный спектр, полученный нами, представлен на рис. 2.

Описанная схема с добавлением двух оптических каналов по рассеянному свету может быть применена для измерения полного вектора скорости.

Для иллюстрации возможностей описанного измерителя на рис. 3 показаны полученные нами профили скорости в поперечном сечении канала с водопроводной водой при следующих значениях интегральной скорости: 1 — 4,15 м/сек, 2 — 0,174 м/сек, 3 — 0,098 м/сек. Канал был выполнен в виде трубопровода длиной 600 мм и имел квадратное сечение со стороной 10 мм. Измерения проводились в среднем по длине сечения канала. При этом использовалась несколько видоизмененная схема. Перед линзой 2 была поставлена коллимационная трубка, а сигнал с фотоумножителя после усиления подавался на цифровой частотомер. Полученное пространственное разрешение характеризуется областью диаметром 10 мкм и длиной 60 мкм. Наименьшее расстояние от стенки канала, которое удалось получить в этом эксперименте, 50 мкм. Для сравнения на этом же рисунке показан теоретический профиль скоростей (кривая 4), рассчитанный для ламинарного потока при интегральной скорости 0,098 м/сек. Расхождение кривых 3 и 4 объясняется, по-видимому, наличием небольшой турбулентности. Допплеровской ча-

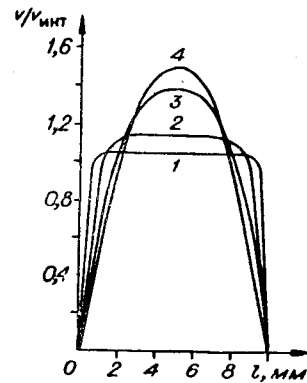


Рис. 3.

сты проводилось с помощью цифрового частотомера, однако с учетом ряда факторов погрешность измерения средней скорости по нашим оценкам 3—5%.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. W. Foreman, R. D. Lewis, J. R. Thornton and H. J. Watson. Laser Doppler Velocimeter for Measurement of Localized Flow Velocities in Liquids.—Proc. IEEE, 1966, QE-2, v. 54.
2. M. J. Rudd. A Laser Doppler Velocimeter Employing the Laser as a Mixer-oscillator.—Jr. of Scientific Instruments, 1968, Ser. 2, v. 1, № 7.
3. E. R. Pike, D. A. Jackson, P. J. Bourke and D. J. Page. Measurement of Turbulent Velocities From the Doppler Shift in Scattered Laser Light.—Jr. of Scientific Instruments, 1968, Ser. 2, v. 1, № 7.
4. R. J. Goldstein and W. F. Hagen. Turbulent Flow Measurements Utilizing the Doppler Shift of Scattered Laser Radiation.—The Physics of Fluids, 1967, v. 10, № 6.
5. D. T. Davis. Analysis of a Laser Doppler Velocimeter.—ISA Transactions, 1968, v. 7, № 1.
6. Y. Yeh, H. Z. Cummins. Localized Fluid Flow Measurements with an He—Ne Laser Spectrometer.—Appl. Phys. Letters, 1964, v. 4, № 10.

Поступило в редакцию
12 июня 1969 г.

УДК 681.2.088

М. М. ГОРБОВ, Э. В. КУЗЬМИН

(Барнаул)

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЕМКОСТНОГО ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Емкостные первичные преобразователи находят все более широкое применение для измерения различного рода неэлектрических величин [1], в том числе для измерения геометрических размеров диэлектрических пленок. Известен ряд работ, касающихся применения емкостных первичных преобразователей, выполненных в виде плоских конденсаторов [2—8], однако в них недостаточно полно освещены вопросы расчета погрешностей и рекомендации по их уменьшению.

В данной статье произведен расчет некоторых относительных погрешностей емкостного первичного преобразователя при измерении ширины и толщины диэлектрических пленок.

Выведем аналитическую зависимость емкости первичного преобразователя от его параметров и параметров диэлектрической пленки. Преобразователь, выполненный в виде плоского конденсатора, между пластинами которого помещена диэлектрическая пленка с прямоугольной формой поперечного сечения, изображен на рис. 1. Пленка расположена между пластинами первичного преобразователя таким образом, что ее ребра, перпендикулярные сечению пленки, параллельны краям пластин по их длине, а большие стороны сечения параллельны пластинам первичного преобразователя. Приближенная эквивалентная схема первичного преобразователя без учета паразитных емкостей, индуктивностей, потерь, краевого эффекта и искажения поля на краях пленки, а также при выполнении условия квазистационарности изображена на рис. 2. Емкости $C_1—C_5$ рассчитываются как емкости плоских конденсаторов [9]. Конденсаторы C_1, C_5 имеют площади обкладок b_1L, b_2L и расстояние между обкладками H ; конденсаторы $C_2—C_4$ имеют площадь обкладок bL и расстояние между обкладками h_1, h, h_2 соответственно. Суммируя емкости плоских конденсаторов $C_1—C_5$ по правилам электротехники и сделав соответствующие преобразования, получим

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_2 B L}{H} + \frac{\epsilon_0 b L}{H} \left[\frac{1}{\frac{h}{H} \left(\frac{1}{\epsilon_1} - \frac{1}{\epsilon_2} \right) + \frac{1}{\epsilon_2}} - \epsilon_2 \right], \quad (1)$$