

УДК 532.517.681.121.8

СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ И ТЕРМОАНЕМОМЕТРА В СЛЕДЕ ЗА ЦИЛИНДРОМ

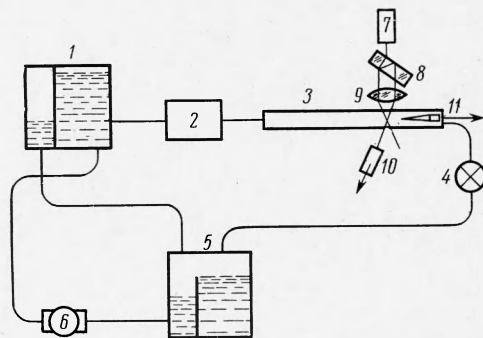
*А. Н. Домарацкий, Ю. Н. Дубнищев, В. П. Короневич
В. С. Соболев, А. А. Столбовский, Е. Н. Уткин
Н. Ф. Шмойлов*

(Новосибирск)

Описаны результаты сравнения показаний лазерного доплеровского измерителя скорости и термоанемометра в следе за цилиндром, обтекаемым жидкостью. Указан путь исключения влияния инструментального уширения доплеровского спектра при получении статистических характеристик турбулентных потоков. Результаты эксперимента для обоих приборов хорошо согласуются.

Одним из основных средств получения информации о параметрах турбулентных потоков в настоящее время является термоанемометр. К сожалению, такие его недостатки, как возмущение исследуемого потока, нелинейная связь выходного напряжения и измеряемой скорости, низкое пространственное разрешение, ограниченное быстродействие, сильная чувствительность к температуре потока и, наконец, влияние загрязнений при исследовании жидкостных потоков, заставили специалистов искать новые пути экспериментального изучения турбулентности.

В последнее время ведутся интенсивные исследования по применению для этих целей оптического эффекта Доплера в когерентном свете лазера, рассеянном примесными частицами. Хотя в большинстве имеющихся по этому вопросу публикаций [1-4] рассматривается только принцип работы доплеровских измерителей или вопросы их использования для измерения средней скорости, можно с уверенностью сказать, что разрабатываемая методика обещает во многом быть свободной от перечисленных недостатков термоанемометрии. Сейчас уже ясно, что основным



Фиг. 1

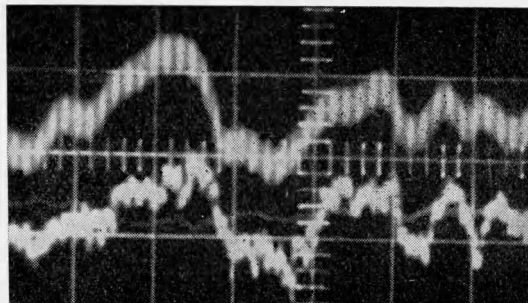
препятствием для решения задачи измерения параметров турбулентных потоков с помощью лазерных доплеровских измерителей скорости (ЛДИС) является инструментальное уширение спектра получаемого доплеровского сигнала. Авторами создан ЛДИС, оптическая схема и блок электронной обработки которого позволили свести упомянутое уширение спектра к минимуму. Достаточно сказать, что уровень шумов этого прибора эквивалентен на низких скоростях (т. е. при самых неблагоприятных условиях) турбулентности порядка 1% в полосе частот 0-400 гц. Измеритель имеет цифровой выход по средней скорости и выход в виде аналогового сигнала, пропорционального мгновенной скорости потока. В работе на примере исследования следа за цилиндром в водном потоке даны результаты сравнения показаний этого ЛДИСа и созданного нами ранее термоанемометра [5].

Схема экспериментальной установки представлена на фиг. 1. Гидродинамическая система состоит из напорного бака 1, успокоителя 2, рабочего канала 3, вентиля 4, регулирующего скорость, и нижнего бака 5. Насос 6 гонит воду (с добавкой суспензии фторопласта в качестве рассеивающей среды) в напорный бак, в котором с помощью перегородки и дополнительного слива поддерживается постоянный уровень. Из напорного бака жидкость проходит рабочую часть квадратного канала сечением 16×16 мм². Боковые стенки канала выполнены из оптического стекла, через них при помощи стеклянной пластинки 8 и линзы 9 в поток фокусируются пучки света лазера 7 и выходит пучок рассеянного потока света на фотоприемник 10. В рабочей части канала расположен пленочный датчик термоанемометра 11 таким образом, что его чувствительная часть помещена в непосредственной близости от фокуса пучков света лазера. Вверх по потоку (40 мм от фокуса) вертикально установлен цилиндр диаметром 5 мм, след от которого исследовался с помощью обоих приборов. Воспринимающее ребро датчика расположено параллельно образующей цилиндра. Расходная скорость измерялась с помощью мерного стакана и секундомера. Средняя скорость потока в исследуемой точке в направлении оси канала определялась по средней доц-

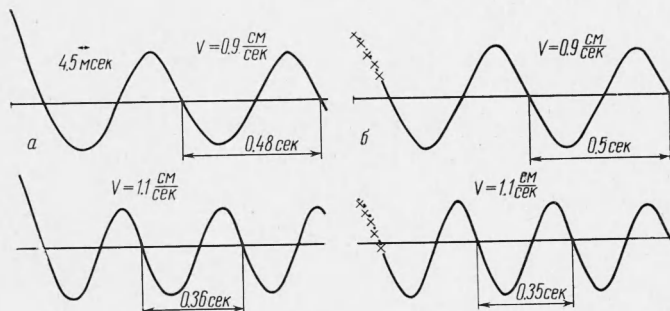
плеровской частоте, измеряемой цифровой системой отсчета ЛДИС, по известной формуле

$$V = \frac{\lambda f}{2 \sin^{1/2} \theta \sin \varphi}$$

Здесь λ — длина волны излучения лазера, f — доплеровская частота, θ — угол между опорным и рассеянным пучками, φ — угол между вектором скорости



Фиг. 2



Фиг. 3

и биссектрисой угла, образованного направлениями падающего и выделенного рассеянного пучков.

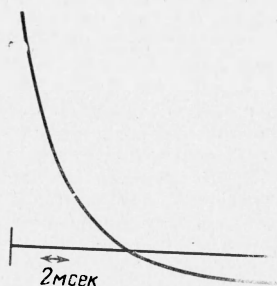
На фиг. 2 представлена фотография с экрана осциллографа ЛДИС (вверху — сигнал термоанемометра, внизу — ЛДИС). Как видно из фигуры, совпадение сигналов очень хорошее. Корреляционные функции сигналов от обоих приборов подсчитывались на специализированной вычислительной машине Дидак 800. На фиг. 3 приведены корреляционные функции при средних скоростях 0.9 см/сек и 1.1 см/сек (кривые а и б соответственно для ЛДИС и термоанемометра).

Вид этих функций показывает, что исследуемый процесс имеет значительную регулярную составляющую пульсаций скорости. По ее периоду можно оценить размеры вихря. Так, например, при скорости $v = 0.9$ см/сек имеем период $T = 0.5$ сек и эффективный размер вихря

$$r = VT = 0.45 \text{ см}$$

Совпадение кривых для обоих приборов почти полное. Исключение составляют начальные участки корреляционных функций. Это различие объясняется шумами ЛДИС, являющимися следствием, как уже упоминалось, инструментального уширения доплеровского спектра. Если предположить, что шумы ЛДИС и исследуемый процесс статистически независимы, то корреляционная функция выходного сигнала блока обработки ЛДИС представляется суммой корреляционных функций шумов и исследуемого процесса. Последнюю можно получить вычитанием корреляционной функции шумов из корреляционной функции выходного сигнала блока обработки.

На фиг. 4 показана корреляционная функция шумов ЛДИС при ламинарном потоке. Естественно, что переменная составляющая выходного сигнала термоанемо-



Фиг. 4

метра при этом была практически равна нулю, в то время как на выходе ЛДИС эффективное значение напряжения шумов было равно 50 мВ (1% турбулентности). Масштаб функции для удобства был выбран в 2.25 раза крупнее, чем для предыдущей фигуры.

Корреляционные функции исследуемого процесса, полученные вычитанием графика фиг. 4 из графиков фиг. 3, представлены на фиг. 3 крестиками на кривых корреляционных функций сигналов термоанемометра.

Таким образом, приведенные результаты показывают полное совпадение статистических характеристик процесса, измеренных с помощью лазерного доплеровского измерителя скорости и термоанемометра. Учитывая преимущества ЛДИС, можно ожидать, что в ближайшем будущем он станет серьезным конкурентом термоанемометра.

Авторы благодарят Ю. Е. Нестерихина за постоянное внимание к работе и полезные обсуждения.

Поступила 29 IV 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. Goldstein R. J., Kreid D. K. Measurement of laminar flow development in a square duct using a laser-Doppler flowmeter. Trans. ASME, Ser. E., J. Appl. Mech., 1967, vol. 34, No. 4, pp. 813—818.
2. Laser Doppler velocimeter for measurement of localized flow velocities in liquids. Proc. IEEE QE-2, 1966, vol. 54, No. 3, pp. 424—425.
3. Дубнищев Ю. Н., Коронкевич В. П., Соболев В. С., Столповский А. А., Уткин Е. Н., Шмойлов Н. Ф. Измерение скорости в потоке жидкости с использованием оптического эффекта Доплера. Автометрия, 1969, № 6, стр. 115—117.
4. Great C. Measurement of turbulence statistics with a laser velocimeter. J. Phys., Ser. E, 1970, vol. 3, No. 2, pp. 158—160.
5. Грохольский А. Л., Соболев В. С., Столповский А. А., Ткачев Н. И., Уткин Е. Н. Трехканальный радиочастотный термоанемометр постоянного сопротивления. М., ГОСИНТИ, 1968.

УДК 537.226:662.413

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ПРЕССОВАННОГО АЗИДА СВИНЦА

В. В. Стеньгач (Москва)

Приводятся некоторые результаты экспериментального определения электрической прочности азид свинца в зависимости от ряда физических факторов: плотности, величины кристаллов, давления воздуха, поверхности электродов и др.; рассматривается определенная модель прессованного азид свинца.

Изучение пробоя твердых веществ, жидкостей и газов продолжает привлекать внимание исследователей [1—5]. Представляет интерес и изучение пробоя двухфазных систем. Представителем двухфазного диэлектрика является прессованный азид свинца, в котором часть объема занимают кристаллы азид свинца, другую часть — воздух. Изучение пробоя азид свинца и выяснение его механизма представляет интерес и для изучения чувствительности его к электрической искре.

Описание экспериментов. В опытах использовались стальные полированные электроды с радиусом закругления 1.5 мм, расстояние между которыми изменялось от 0.05 до 0.5 мм, что обеспечивало в месте наименьшей толщины диэлектрика поле, близкое к однородному [2].

Средняя напряженность электрического поля между шарами рассчитывалась по приближенной формуле [6]

$$E = 0.9 \frac{U}{d} \frac{r + 1/2d}{r} \quad (1)$$

Здесь U — приложенное к электродам напряжение, d — минимальное расстояние между шаровыми поверхностями, r — радиус шара.

Отклонение величины электрического поля между шаровыми поверхностями, которые находятся одна от другой на расстоянии d , от напряженности электрического поля между параллельными пластинками, расположенными одна от другой на том же расстоянии d , при условии, что к электродам в обоих случаях приложено одно и то же напряжение, при использовавшихся электродах и межэлектродных расстояниях не превышало 5%.