

С применением всех этих мер погрешность измерения перемещения плоского зеркала может быть снижена до  $10^{-8}$ .

Таким образом, рассмотренный интерферометр при незначительных погрешностях ( $10^{-8}$ ) обладает рядом достоинств (постоянство ширины полос, вдвое большая чувствительность к перемещению, нечувствительность к поперечным смещениям призмы) и поэтому заслуживает внимания как прибор для измерения перемещений и определения ускорения силы тяжести.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент США, кл. G 01 в 9/02, № 3. 458. 259.
2. W. H. Steel. On Möbius-band Interferometers.— *Optica Acta*, 1964, v. 11, № 3.
3. В. П. Коронкевич, Г. А. Ленкова. Лазерный интерферометр для измерения длины.— *Автометрия*, 1971, № 1.

Поступило в редакцию  
20 марта 1972 г.

УДК 621.378.525 : 532.57

А. Н. ДОМАРАЦКИЙ, М. Б. КУДРЯВЦЕВ, В. С. СОБОЛЕВ,  
Н. Ф. ШМОЙЛОВ, Ю. И. ЮРЛОВ  
(Новосибирск)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАССЕИВАЮЩИХ ЧАСТИЦ НА ВРЕМЯ КОРРЕЛЯЦИИ ДОППЛЕРОВСКОГО СИГНАЛА ЛДИС

При измерении параметров турбулентных потоков жидкостей и газов нашли применение лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС), основанные на принципе регистрации доплеровского смещения частоты лазерного излучения. Эти измерения требуют знания основных статистических характеристик доплеровского сигнала, на величину которых влияет ряд причин, например броуновское движение рассеивающих свет частиц, размеры телесных углов падающего в поток лазерного излучения [1]. Влияние концентрации рассеивающих частиц (РЧ) на статистические характеристики доплеровского сигнала еще недостаточно изучены [2].

В настоящей работе описываются экспериментальные исследования влияния концентрации рассеивающих частиц на изменение статистических характеристик доплеровского сигнала. Оценка производилась по изменению максимального времени корреляции корреляционной функции доплеровского сигнала.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В исследуемую среду, находящуюся в стеклянной трубке 1 с внутренним диаметром 8 мм, положи-

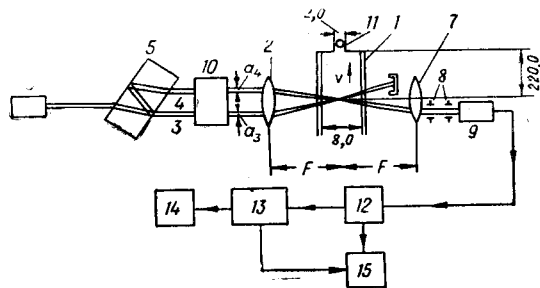


Рис. 1.

тельной линзой 2 ( $F=5$  см), фокусируются два лазерных плоскополяризованных пучка 3 и 4, образованных делительной пластиной 5 из пучка света, генерируемого лазером 6 типа ЛГ-75 в режиме  $TEM_{00}$ . Интенсивности пучков удовлетворяют неравенству  $I_4 \ll I_3$ , их диаметры соответственно равны  $a_4=0,02$  см,  $a_3=0,1$  см. После прохождения исследуемого потока луч 3 перекрывается заслонкой, а луч 4 и рассеянный частицами свет фокусируются линзой 7 ( $F=3$  см) через диафрагмы 8 на катод ФЭУ 9. Оба пучка обладают

взаимной временной и пространственной когерентностью, одинаково поляризованы блоком 10 (см. рис. 1) и образуют в пересечении объемную интерференционную картину (рис. 2). Расстояние между двумя соседними максимумами по оси  $x$ , как известно [3], равно

$$\Delta x = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина волны лазерного излучения (6328 Å). Угол  $\theta$  между главной оптической осью и одним из входных пучков выбирался с учетом пространственного разрешения  $\Delta x$  (1) так, чтобы диаметр  $d=0,5-1$  мк РЧ удовлетворял неравенству  $d < \Delta x/2$ . Тогда движущаяся частица при пересечении рассеивающего объема изменяет уровень освещенности катода ФЭУ от максимума к минимуму и вызывает флуктуации тока ФЭУ с доплеровской частотой (см. [3])

$$f_d = v_x / \left( \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \right). \quad (2)$$

Размеры области пересечения лазерных пучков на уровне интенсивности  $-4,4$  дБ определяются выражениями по осям  $x, y, z$  (см. рис. 2):

$$x_0 = \frac{a_0}{2 \cos \theta}; \quad y_0 = \frac{a_0}{2 \sin \theta}; \quad z_0 = a_0, \quad (3)$$

где  $a_0$  — диаметр луча  $a_4$  в фокальной плоскости линзы. Считая распределение интенсивности в сечении лазерного луча гауссовым [4], целесообразно представить рассеивающий объем в виде эллипсоида [5] (на уровне интенсивности луча  $a_4 - 4,4$  дБ) с центром в точке  $(0,0,0)$

$$x^2 \cos^2 \theta + y^2 \sin^2 \theta + z^2 = a_0^2 / 8, \quad (4)$$

с осями согласно (3). Его объем равен

$$V = \frac{\pi}{3} \frac{a_0^3}{\sin 2\theta}, \quad (5)$$

где

$$a_0 = 1,22 \frac{\lambda F}{a_4}. \quad (6)$$

Полагая в (5)  $\sin 2\theta \cong D/F$  и используя (6), имеем

$$V = \frac{\pi}{3} (1,22)^3 \frac{\lambda^3 F^4}{a_4^3 D}. \quad (7)$$

При  $F=3$  см,  $D=0,6$  см,  $a_4=0,02$  см исследуемый объем равен  $V \cong 10^{-8}$  см<sup>3</sup>.

В колбе с впаянной трубкой 1 (см. рис. 1) и заполненной бидисциллятом воды с помощью магнитной мешалки создается течение жидкости, скорость которой может регулироваться краном 11 от 0 до 2 см/с. В процессе эксперимента в бидисциллат воды добавлялась фторопластовая суспензия с диаметрами частиц  $d=0,557-1$  мкм. Учитывая диаграмму интенсивности рассеяния света на малых частицах [6] и количество частиц в рассеивающем объеме (7), были выбраны исходные данные исследуемой среды, приведенные в таблице.

Номер опыта	Объем бидисциллята воды, см <sup>3</sup>	Количество 25 %-й фторопластовой суспензии, см <sup>3</sup>	Содержание рассеивающих частиц, %	Среднее число частиц в рассеивающем объеме
1	1150	0,15	0,003	0—1
2	»	0,25	0,005	0—2
3	»	0,50	0,01	1—3
4	»	0,75	0,015	2—5
5	»	1,00	0,02	3—8

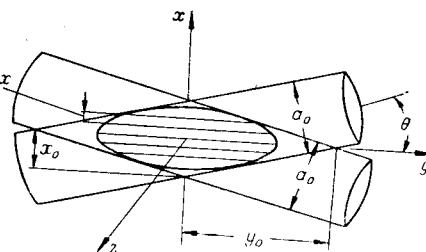


Рис. 2.

В процессе эксперимента выдерживалось постоянство всех параметров и изменялась лишь концентрация фторопластовых частиц в бидисциллате воды согласно таблице. Электрический сигнал с ФЭУ после усиления услителем 12 (с полосой пропускания 1 Гц—1 МГц) подавался на вход аналого-цифрового коррелятора 13 [7]. Вычисленные корреляционные функции записывались самописцем 14, а числовые значения корреляционных функций определялись цифровым вольтметром 15.

На рис. 3 представлена корреляционная функция доплеровского сигнала, соответствующая четвертому эксперименту (см. таблицу), при  $v_x \approx 1,2$  см/с, времени усреднения  $T=3$  мин, минимальном значении задержки  $\tau=50$  мкс. Они представляют собой затухающие косинусоиды с частотой пересечения оси абсцисс, равной средней частоте энергетического спектра доплеровского сигнала. Экспериментально было

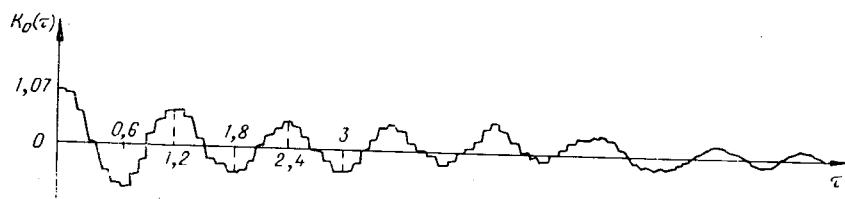


Рис. 3.

установлено, что вариации скорости потока от 0 до 2 см/с вызывают пропорциональные изменения средней частоты пересечения оси абсцисс корреляционной функции доплеровского сигнала, т. е. по корреляционной функции может определяться средняя (за

время получения корреляционной функции) скорость течения жидкости.

При изменении концентрации РЧ в воде, согласно таблице, средняя частота пересечения корреляционной функции оси абсцисс остается постоянной (см. рис. 3), изменяются только огибающие нормированных корреляционных функций (рис. 4)

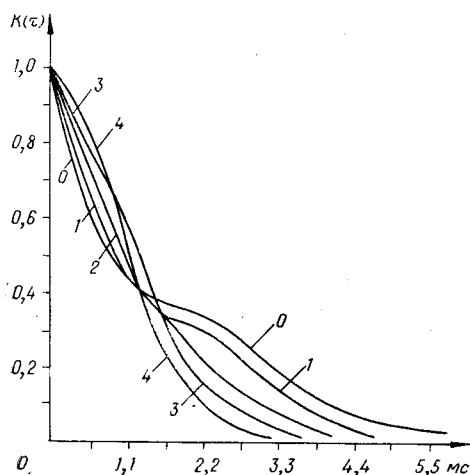


Рис. 4.

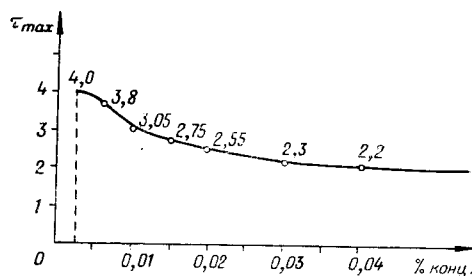


Рис. 5.

(номер кривой на графиках совпадает с номером эксперимента). Из графиков рис. 4 можно видеть, что при увеличении концентрации от 0,003 до 0,02% наблюдается уменьшение времени корреляции доплеровского сигнала. Дальнейшее увеличение концентрации не приводит к ощутимым изменениям времени корреляции (рис. 5).

Таким образом, результаты эксперимента показывают, что корреляционная функция и время корреляции доплеровского сигнала зависят от изменения концентрации РЧ, если в рассеивающем объеме одновременно находится малое число частиц (менее 10), и не зависят, если в рассеивающем объеме в среднем находится 15—70 рассеивающих частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Дубнишев, В. П. Коронкевич, В. С. Соболев. Об инструментальной ширине доплеровского спектра лазерного измерителя скорости потока.— *Автометрия*, 1971, № 1.
2. J. C. Owens. Optical Doppler Measurement of Microscale Wind Velocity.— *Proc. IEEE*, 1969, v. 57, № 4.
3. H. D. Stein, R. Rateau, G. Schultze, В. Koch. Новый интерферометрический лазерный способ измерения больших скоростей объектов.— *Radio and Electron. Eng.*, v. 40, № 1.

4. Когельник, Л.и. Резонаторы и световые пучки лазеров.— ТИИЭРЭ, 1966, т. 54, № 10.
5. D. V. Brauton, W. H. Goethert. Новая техника измерения скорости, основанная на регистрации доплеровского смещения двух рассеянных лазерных пучков.— ЭИ, ИПС, 1971, № 46.
6. Ван-де Хюльст. Рассеяние света на малых частицах. М., Изд-во иностр. лит., 1961.
7. А. Н. Домарацкий, Л. Н. Иванов, Е. Н. Карышев и др. Аналого-цифровой оперативный коррелятор КАЦО-240.— Автометрия, 1971, № 3.

*Поступило в редакцию  
22 марта 1972 г.*

УДК 621.378.3

А. М. ВАСИЛЬЕВ, С. Т. ДЕ, А. В. ЛОГИНОВ  
(Новосибирск)

### ЛАБОРАТОРНЫЙ АРГОНОВЫЙ ЛАЗЕР С РАЗРЯДНЫМ КАНАЛОМ ИЗ ОКИСИ БЕРИЛЛИЯ

В настоящее время в научных исследованиях широко используются газовые ОКГ непрерывного действия. Наибольшее распространение получили гелий-неоновые лазеры с выходной мощностью 50 мВт в одномодовом режиме. Однако в ряде задач необходима выходная мощность несколько ватт, причем в более коротковолновой части спектра.

К таким задачам следует отнести получение голограмм на несеребряных светочувствительных материалах, исследование методом голографической интерферометрии больших диффузно отражающих объектов, перенос восстановленного изображения шаблона на фоторезист при изготовлении микросхем и т. д. Использование новых регистрирующих сред в сочетании с мощными лазерами открывает широкие возможности для создания когерентно-оптических вычислительных устройств и голографических запоминающих устройств большой емкости.

Предъявляемым требованиям отвечают ионные газовые лазеры. С их помощью удастся получить генерацию на множестве линий в видимой части спектра. Важнейшими факторами при рассмотрении той или иной конструкции лазера являются мощность, срок службы, надежность и сложность изготовления. В выпускаемых серийно отечественных ионных лазерах разрядный канал изготавливается из кварца. Кварц имеет высокую стойкость по отношению к тепловому удару, но его низкая теплопроводность приводит к очень высокой температуре внутренних стенок. Разрушение кварцевой трубки под действием ионной бомбардировки является главной причиной ограничения срока службы такого лазера и не позволяет увеличить плотность тока разряда. Это приводит к срыву генерации на линиях с малым коэффициентом усиления.

Срок службы серийных ионных ОКГ с кварцевым разрядным каналом и оксидным катодом составляет 40—200 ч, что нельзя считать удовлетворительным.

Нами разработан аргоновый ионный лазер, пригодный для длительной работы в лабораторных условиях. Общий вид прибора показан на рисунке. Описываемая разборная конструкция основана на принципах, существенно отличающихся от принятых при создании обычных лазеров и имеет следующие достоинства: полезный срок службы прибора практически неограничен; все детали, кроме выходных окон, зеркал и разрядного канала, изготавливаются из металла [1].

В качестве разрядного канала использована трубка из окиси бериллия длиной 350 и диаметром 3 мм. Выбор бериллиевой керамики в качестве материала для разрядного канала обуславливается тем, что среди различных изолирующих материалов она имеет наиболее высокую теплопроводность и хорошо выдерживает тепловые удары [2]. Основная трудность, возникающая при изготовлении лазера, заключается в необходимости обеспечить вакуумноплотное соединение концов разрядного канала с металлическим корпусом. Это соединение должно иметь хорошую теплопроводность и выдерживать резкие колебания температуры. Попытка получить переход с керамики на металл с помощью конических уплотняющих прокладок не увенчалась успехом, поэтому был использован метод пайки бериллиевой керамики с титаном, изложенный в [3].