

ные в работе [3]. Таким образом, расчет позволяет оценивать степень дифракции пучка для различных типов МСВ, что необходимо учитывать при разработке приборов на МСВ с оптимальными параметрами.

1. *Берегов А. С.* Управление спектром и групповой скоростью магнитоэлектрических волн // Радиотехника и электроника. 1983. XXVIII, № 1. С. 127. 2. *Оливер А.* Поверхностные акустические волны. М.: Мир, 1981. 390 с. 3. *Parikh I. P., Tuan H. S.* Beams steering and diffraction of magnetostatic backward volume waves // J. Appl. Phys. 1981. Vol. 52, p. II, N 3. P. 2279—2281. 4. *Smith C. V., Owens I. M., Mears T. I., Parikh N. D.* Induction probing of magnetostatic delay line fields // IEEE Trans. 1979. Vol. MAG- 15, N 6. P. 1738—1740.

Поступила в редколлегию 03.09.84

УДК 621.373.826:62

Н. Ф. БОГОМОЛОВ, мл. науч. сотр., С. Н. ХОТЯИЦЕВ, канд. техн. наук, В. А. АНДРУЩЕНКО, В. Г. ГУМЕНЮК, В. А. ЖИТНИК, студенты

ЛАЗЕРНЫЙ ДОППЛЕРОВСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ (ЛДИС) ГАЗОПЫЛЕВЫХ ПОТОКОВ

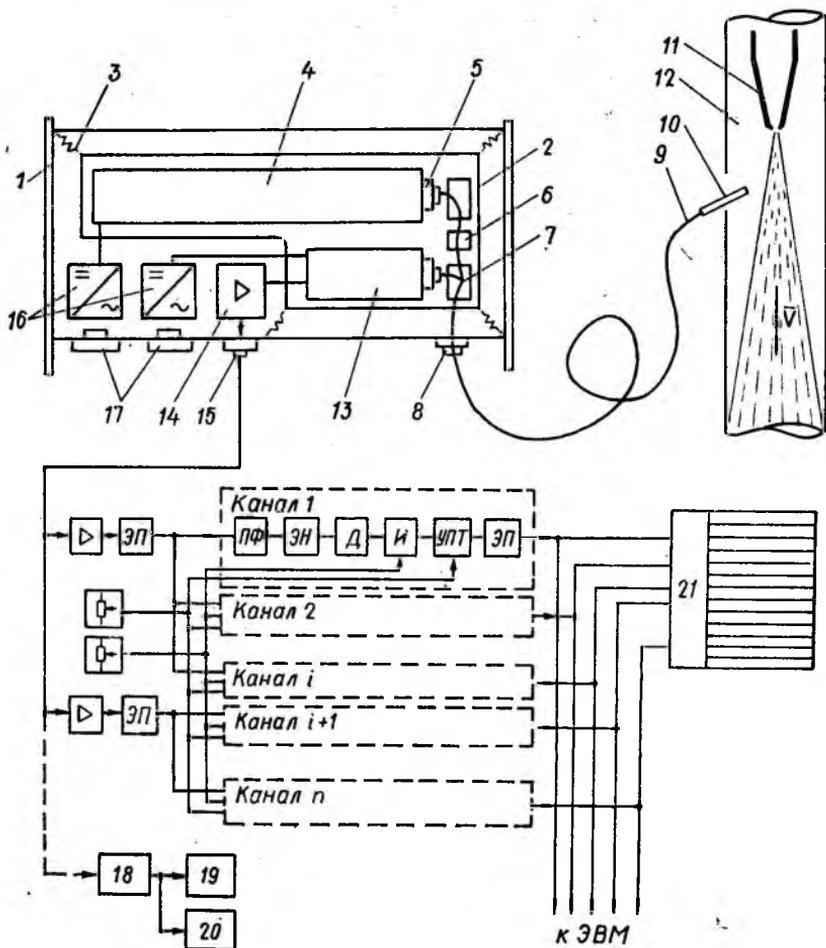
Рассмотрим лазерный доплеровский измеритель скорости с волоконно-оптическим трактом, позволяющим осуществить передачу зондирующего излучения к выбранной точке исследуемого потока через оптически мутную среду [2]. Измеритель работает совместно с аппаратурой обработки доплеровского сигнала.

Оптическая часть измерителя выполнена по гетеродинной схеме [1], принцип работы которой основан на выделении методом фото-смещения доплеровского сдвига частоты, пропорционального скорости исследуемого потока: $f_d = 2V \cos \Theta / \lambda$, где V — скорость потока, λ — длина волны излучения лазера в исследуемой среде, Θ — угол между осью оптического волновода и вектором скорости потока.

Прибор (рис. 1) состоит из передающего и приемного узлов, расположенных в одном несущем корпусе 1 на основании 2, мягко подвешенном внутри корпуса на пружинных амортизаторах 3. Этим обеспечивается сохранность лазера и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) при транспортировке и эксплуатации прибора. Излучение лазера 4 (ЛГ-72-1) мощностью 15 мВт через юстируемый оптосоединитель 5 вводится в световодный тракт. Световод подсоединен через смеситель и устройство вывода оболочечных мод 6 к направленному ответвителю 7, обеспечивающему развязку зондирующего и рассеянного потоком излучений. Световодный тракт в приборе оканчивается выходным юстируемым оптическим разъемом 8. К нему подсоединяется рабочий волоконный зонд 9 длиной до 25 м, на выходе которого расположена коллимирующая сменная оптическая насадка 10. Параметры насадки 10 определяют форму измерительного объема, что позволяет измерить бесконтактно на расстояниях 0 ... 50 мм от насадки скорость газопылевых потоков, формируемых эжектором 11 в канале 12.

В приемной части использован фотоприемник 13 (ФЭУ-79), связанный с приемным световодом, юстируемым двухкоординатным оп-

тосоединителем. С выхода фотоприемника 13 электрический сигнал поступает на широкополосный усилитель 14 ($K_{ус} = 60$ дБ, $\Delta f = 100 \dots 35 \times 10^6$ Гц) и электрический разъем 12. В корпусе 1 размещены также блоки питания лазера и ФЭУ и измерительные приборы 17, с помощью которых контролируется режим. Компоновка



всех оптических узлов и блоков питания в одном корпусе делает измеритель компактным и очень удобным в эксплуатации. Габариты ЛДИС составляют $1030 \times 470 \times 180$ мм.

Проблемные вопросы в обработке сигнала связаны с характеристиками измеряемого потока. При высокой концентрации рассеивающих центров в исследуемом потоке выходной сигнал ФЭУ представляет во времени непрерывный шумоподобный процесс с более или менее выраженной доплеровской спектральной составляющей. Поэтому ин-

формация о скорости потока может быть получена с помощью анализатора спектра 18 или частотно-следающей системы 19, сопряженной с графопостроителем 20, или ЭВМ, производящей статистическую обработку результатов измерений.

При низкой концентрации частиц доплеровский сигнал представляет собой нерегулярную последовательность одиночных радиопульсов, амплитуда которых зависит от диаметра и оптических свойств частиц, а частота заполнения пропорциональна их мгновенной скорости. В этом случае использование следающей системы невозможно из-за пропадания сигнала. Поэтому используются частотно-импульсные методы обработки импульсов, определяющие период доплеровского сигнала. При изменении концентрации частиц в широких пределах оба типа систем работают плохо. В связи с этим в рассматриваемом приборе применена специализированная аппаратура обработки, представляющая собой многоканальный анализатор спектра параллельного типа. Допплеровский сигнал после предварительного усилителя и эмиттерного повторителя ЭП (рис. 2) поступает на систему параллельных узкополосных фильтров ПФ. Измерительные частоты ПФ выбираются таким образом, чтобы полностью перекрыть требуемый диапазон частот (примерно 50 кГц ... 50 МГц). После фильтра ПФ и эмиттерного повторителя ЭП сигнал, соответствующий спектральному составу входного напряжения, поступает на накопительное устройство, состоящее из детектора Д и интегратора И, фиксирующего максимальное значение огибающей сигнала в данном канале. Выходные сигналы через усилитель постоянного тока УПТ подаются на многоканальные быстродействующие регистраторы 21 (Н-338) и могут подаваться на ЭВМ для статистической обработки. Число фильтров на октаву выбрано одинаково во всем диапазоне исследуемых частот. Частоты настройки фильтров определялись

как $f_i = f_1 (\sqrt[2]{2})^i$, где f_i — частота настройки i -го контура, f_1 — частота настройки самого низкочастотного контура.

Численные значения резонансных частот контуров для этого поддиапазона приведены в таблице.

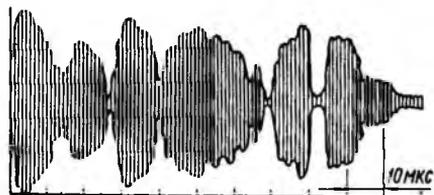
Коэффициент усиления всей системы со входа к выходу одного из каналов составлял 85 дБ, предварительного усилителя — 40 дБ. Постоянная времени амплитудного детектора регулировалась в пределах от 10^{-6} с (режим счета частиц) до 0,1 с (режим усреднения сигналов от одиночных частиц) при изменении сопротивления сток-исток нагрузочного транзистора. Компенсация нуля на выходе каналов осуществлялась потенциометром 22 «Уст. О». Система позволяла регистрировать спектры доплеровских сигналов для процессов продолжительностью 10 мкс.

Номер канала	ν , МГц	$P_{0,7}$, МГц
1	1,6	0,3
2	2,0	0,3
3	2,4	0,4
4	2,8	0,4
5	3,4	0,5
6	4,0	0,6
7	4,8	0,8
8	5,8	0,9
9	7,0	1,2
10	8,4	1,4
11	10,0	1,6
12	12,0	1,9

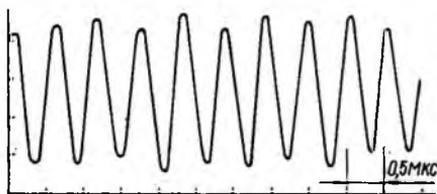
Конструктивно аппаратура параллельного анализа состоит из трех функциональных узлов (широкополосного усилителя тока ФЭУ, блока фильтров, блока питания и индикации), собранных на едином шасси и установленных в общем корпусе (300 × 170 × 190 мм).

Практическая эффективность такой системы была проверена для диапазона скоростей потока песчинок 0,5 ... 5 м/с, что соответствует диапазону доплеровских частот примерно 1 ... 12 МГц. Измерения проводились с рассеивающими частицами диаметром 0,2 ... 0,3

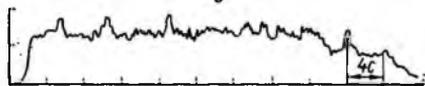
мм, угол Θ между продольной осью волоконного зонда и измеряемой составляющей вектора скорости равен 50° . Отношение сигнал / шум на выходе системы — 9 дБ. На рис. 2 представлены осциллограммы доплеровского сигнала от ансамбля частиц на выходе ПФ с резонансной частотой 2 МГц. Чувствительность осциллографа С8-2 составляла 0,25 В/дел, скорость развертки 10 мкс/дел. На рис. 2, б представлена реализация доплеровского сигнала от одиночной частицы при чувствительности 0,25 В/дел, скорости развертки 1 мкс/дел, а на рис. 2, в, г — сигналы на выходе регистрирующей системы при постоянной времени интегратора 0,1 с и 10^{-6} с.



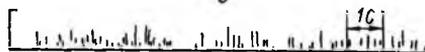
а



б



в



г

большой концентрации частиц выходной сигнал пропорционален общему числу частиц, что позволяет получить наглядное представление о концентрации их в потоке. При малой постоянной времени отдельные частицы регистрируются в виде узких пиков, что облегчает их автоматический подсчет. Интересно, что описываемая система хорошо работает при уменьшении отношения сигнал/шум вплоть до 2 ... 3, что объясняется нелинейностью характеристики детектора.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод об эффективности и перспективности использования волоконного ЛДИС с параллельной системой обработки сигнала для исследования газопылевых потоков.

1. Богомолов Н. Ф., Хотяинцев С. Н. Многоканальные волоконно-оптические измерители скорости // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1983. Т. 26, № 5. С. 59—63.
2. Хотяинцев С. Н. Применение оптических волноводов в датчиках физических воздействий // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1983. Т. 26, № 5. С. 42—53.

Поступила в редколлегия 19.09.84