

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция  
«Оптические методы исследования потоков»  
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 621.39

А. И. Скурлатов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения РАН, Россия  
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1, E-mail: sobolev@iae.nsk.su*

**СВЕТОВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ ВИБРОМЕТР**  
(особенности построения и результаты экспериментальных исследований)

**АННОТАЦИЯ**

Дано описание и результаты экспериментальных исследований лазерного доплеровского виброметра, оптическая схема которого построена на основе световолоконного интерферометра.

**ЛАЗЕРНАЯ ВИБРОМЕТРИЯ, ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА**

**ВВЕДЕНИЕ**

Лазерная доплеровская виброметрия является хорошо известной методикой, которая позволяет дистанционно и без контакта измерять вибрации твердых объектов [1-4]. Она реализуется на основе когерентных свойств лазерных пучков и на высокой чувствительности когерентного детектирования в интерферометре Майкельсона, позволяющей детектировать очень малые интенсивности света, рассеянного диффузно рассеивающей поверхностью. Лазерная виброметрия успешно используется как в научных исследованиях, так и в промышленности - там, где требуются высокая чувствительность и малые возмущения исследуемых объектов. Это - модальный анализ колебаний, оценка шумов, измерения качества громкоговорящих устройств и пьезодатчиков. Стандартный подход к оптическим измерениям малых вибраций основан на принципах лазерной доплеровской анемометрии. Этот принцип лег в основу многих промышленных разработок. Рабочим принципом таких устройств стал интерферометр Майкельсона или Маха – Цандера. Обычно излучение гелий-неонового лазера направляется на вибрирующий объект, а рассеянный свет, содержащий доплеровское смещение частоты, пропорциональное его виброскорости, когерентно детектируется на выходе интерферометра. Вместо перемещений, как это обычно делается, интерферометр измеряет мгновенную скорость объекта, так как его выходной сигнал подвергается частотной демодуляции. Коммерческие приборы позволяют измерять виброскорости от нескольких мкм/с до 1 м/с и частоты вибраций от 0,001 Гц до нескольких МГц. В этом докладе рассматривается аналогичный виброметр, отличающийся тем, что плечи его интерферометра образованы оптоволоконном [5], а электронная часть представляет собой демодулятор, основанный на алгоритме оптимальной частоты получаемого сигнала [6]. Применение оптоволоконна упрощает конструкцию виброметра и повышает надежность его работы.

## ОПИСАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ВИБРОМЕТРА

В макетном образце прибора используется полупроводниковый лазер мощностью 5 мВт с длиной волны 0,65 мкм. Поляризованный в горизонтальной плоскости луч лазера коллимируется линзой и проходит через бегущее ультразвуковое поле акустооптической ячейки, расщепляясь на два горизонтально поляризованных луча. Причем дифрагированный луч смещается ячейкой на 80 МГц по частоте. Не дифрагированный луч (без сдвига по частоте) проходит на угольную призму и отклоняется в горизонтальной плоскости на 90 градусов. Дифрагированный луч проходит на вторую призму и также отклоняется на 90 градусов. Этим достигается большой пространственный разнос между лучами, позволяющий для каждого из лучей строить свою оптическую систему. Не сдвинутый по частоте луч (имеющий на порядок большую мощность, чем дифрагированный) проходит полуволновую пластинку и приобретает вертикальную поляризацию. Затем этот луч проходит сквозь поляризационный кубик и четвертьволновую пластинку, приобретает круговую поляризацию и поступает на поверхность испытуемого вибрирующего объекта. Отраженный или рассеянный объектом пучок света, пройдя обратно через четвертьволновую пластинку, приобретает горизонтальную поляризацию. Далее этот пучок отклоняется разделительным поляризационным кубиком на 90 градусов и через фокусирующий объектив, имеющий 3 степени свободы для юстировки, попадает на вход одномодового световолоконного интерферометра. На второй вход этого интерферометра поступает опорный луч с горизонтальной поляризацией. Вследствие интерференции этих пучков на выходном лавинном фотодиоде интерферометра появляется сигнал с частотой 80 МГц плюс доплеровская частота, пропорциональная виброскорости исследуемого объекта.

Функциональная схема оптической части виброметра представлена на Рис.1.

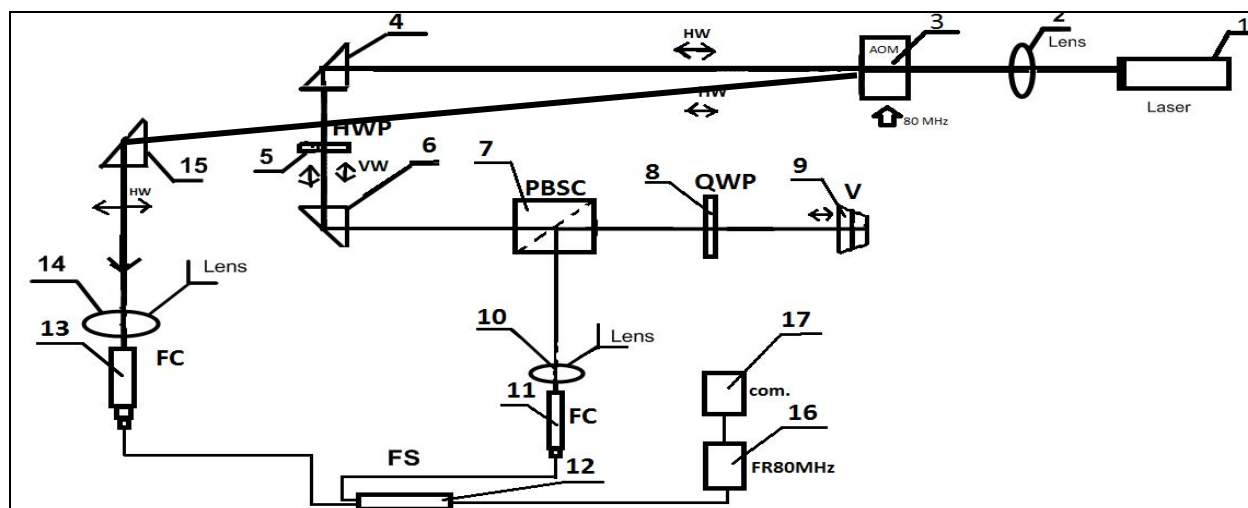


Рис. 1. Функциональная схема виброметра

1-полупроводниковый лазер, 2-коллиматор, 3-акустооптическая ячейка, 4-поворотная призма, 5,6,15 – полуволновая пластинка, 7-поляризационный расщепитель, 8-четвертьволновая пластинка, 9-вибрирующий объект, 10,14-линзы, 11,13-вводное устройство света в оптоволоконно, 12-световолоконный направленный ответвитель (каплер), 16- лавинный фотодетектор, 17-электронная часть виброметра.

## ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЧАСТИ ВИБРОМЕТРА

Функциональная схема электронной части виброметра показана на Рис.2.

Сигнал с выхода лавинного фотодиода усиливается с помощью узкополосного усилителя (УВЧ) с центральной частотой 80 МГц и полосой пропускания 2 МГц. С выхода

этого усилителя сигнал поступает на два умножителя, вторые входы которых питаются квадратурными напряжениями частотой 80 МГц от генератора, питающего акустооптическую ячейку. С выходов этих перемножителей сигналы проходят через два фильтра низких частот с полосой пропускания 2 МГц. Эти фильтры удаляют продукты перемножения удвоенной частоты. Выходные сигналы фильтров в виде аналитического сигнала поступают на входы двух аналого-цифровых преобразователей и далее через интерфейс в оперативную память персонального компьютера, снабженного программным обеспечением, реализующим частотную демодуляцию получаемого сигнала в соответствии с известным алгоритмом (1) и осуществляет оптимальную оценку виброскорости путем осреднения полученных значений мгновенной частоты [6].

$$\omega(t) = \frac{U(t)V'(t) - V(t)U'(t)}{U^2(t) + V^2(t)}, \quad (1)$$

где  $U(t)$  и  $V(t)$  – квадратурные сигналы на выходах фильтров, а их обозначения со штрихами – производные по времени.

Результаты вычислений, пропорциональные виброскорости исследуемого объекта выдаются в цифровом и аналоговом видах.

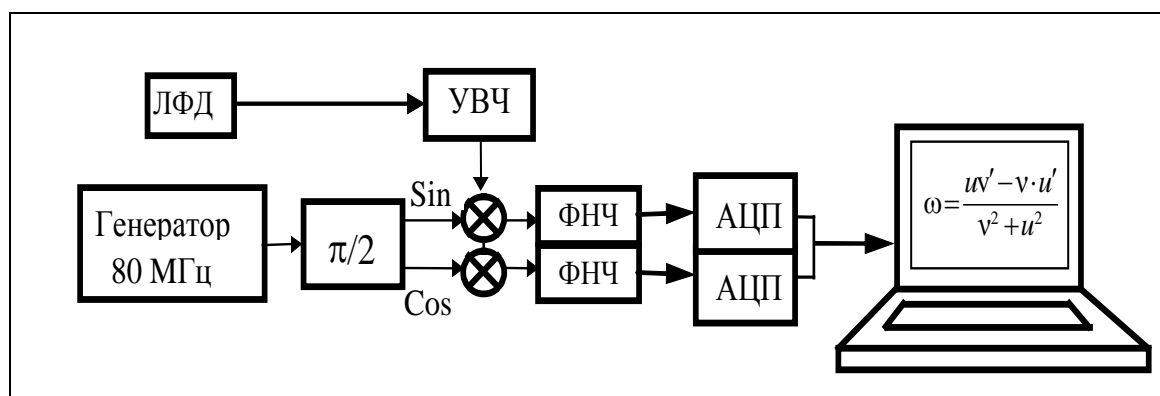


Рис. 2. Функциональная схема электронной части виброметра.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальные исследования макетного образца виброметра показали, что при мощности используемого полупроводникового лазера 5 мВт в полосе частот 100 кГц отношение сигнал-шум на входе следящего фильтра составляет 20 дБ по напряжению. На Рис.3 представлены результаты измерения смещений диффузора динамика с амплитудой колебаний, превышающей одну интерференционную полосу.

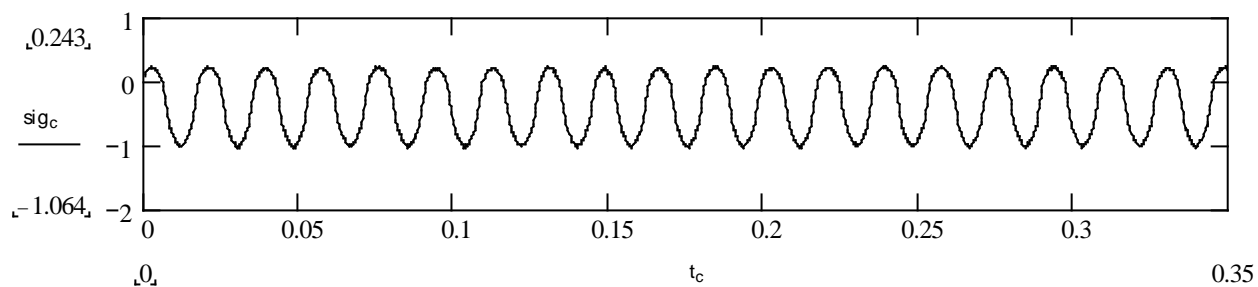


Рис. 3. Аналоговый выходной сигнал следящего фильтра при измерении виброскорости диффузора громкоговорителя с амплитудой виброскорости около 1 мм/с на частоте 50 Гц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в докладе виброметр со световолоконным интерферометром обладает повышенной стабильностью работы и высоким отношением сигнал-шум.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франсон М. Оптика спеклов. М.: Мир. 1980. С.176.
2. Рябухо В.П., Ульянов С.С. Амплитудно-фазовая модуляция сигнала спекл-интерферометра вибраций // Письма в ЖТФ. 1991. Т.17. Вып.13. С.11-15.
3. Picering C.J.D., Halliwell N.A. The Laser vibrometer: a portable instrument // Journal Sound Vibration. 1986. V.107. P.471-85.
4. Guliani G., Bozzi-Pietra S., Donati S. Self-mixing Laser Diode Vibrometer // Institut of Physics Publishing, Measurement science and Technology. 2003. V.14. P. 24-32.
5. Бэйли Д, Райт Э. Волоконная оптика. М.: КУДИЦ- ПРЕСС. 2008. 308.
6. Соболев В.С. Оптимальные оценки параметров оптических сигналов. Новосибирск: Издательство СО РАН. 2011. 134.