

# ЛАЗЕРНЫЙ ВИБРОМЕТР ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ



И.Краснощеков, А.Самойлов,  
В.Типашов, к.т.н., Л.Морозов

Лазерная виброметрия – современный, качественно новый уровень измерения параметров механических колебаний объектов. Уникальные физические особенности лазерных методов определяют многие их достоинства. Это возможность дистанционного бесконтактного измерения вибрации и отсутствие влияния на резонансные свойства объектов, в том числе микроскопических размеров; возможность измерений без предварительной подготовки поверхности объекта и оперативное измерение вибраций в различных точках объекта в опасной для персонала зоне (химически агрессивной, с высокой температурой, радиацией и т.д.).

ФГУП "ННИПИ "Кварц" разработал первый отечественный портативный лазерный виброметр повышенной чувствительности. В 2007 году после проведения государственных испытаний прибор включен в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации.

Лазерный виброметр предназначен в первую очередь для дистанционного измерения виброскорости исследуемого объекта или его части в пределах от 0,01 до 50 мм/с на виброчастотах от 80 Гц до 11 кГц с возможностью расширения диапазона виброчастот в сторону низких частот до 10 Гц. Измерительная дистанция от лазерного виброметра до испытуемого объекта составляет от 1,5 до 10 м и более. Напряжение питания виброметра – 12 В постоянного тока от переносной аккумуляторной батареи или от источника питания, подключаемого к сети переменного тока 220 В (50 Гц). Потребляемая мощность – 15–20 Вт (в зависимости от режима работы).

Принцип работы лазерного виброметра основан на доплеровском сдвиге частоты оптического (лазерного) излучения, отраженного от движущегося объекта. В этом случае применяются метод оптического гетеродинирования отраженного от объекта слабого оптического сигнала на основе двухлучевой интерференционной оптической схемы с последующим формированием квадратурных компонент электрического сигнала фотодетекторами балансного типа.

Микропроцессоры, входящие в состав лазерного виброметра, производят цифровую обработку и анализ вибрационных сигналов. Результаты в виде спектрограмм или осциллограмм отображаются на экране внешнего компьютера, подключенного через каналы RS-232 или USB, разъемы которых размещены на панели управления прибора. Измерение параметров сигнала проводится при помощи подвижного маркера на экране дисплея.

В состав портативного лазерного виброметра входит карманный персональный компьютер (КПК). Он в графическом виде отображает результаты измерений на дисплее; управляет режимами работы лазерного виброметра через виртуальную панель управления, в том числе режимами обработки сигнала и отображения его во временной (осциллограф) или в частотной (анализатор спектра) областях; выбирает пределы амплитудных измерений и длительности развертки в режиме осциллографа, а также частотную полосу обзора в режиме анализатора спектра и число усреднений реализаций спектров от 1 до 256; выполняет функцию установки линейного или логарифмического масштабов в режиме анализатора спектра и в режиме записи результатов измерений на флэш-карту в формате, выбранном оператором и с возможностью последующего воспроизведения на другом компьютере.

Разработано программное обеспечение, которое позволяет управлять всеми перечисленными функциями и режимами при помощи стандартных компьютеров по каналам RS-232 или USB, что дает возможность включать лазерный виброметр в автоматизированные измерительные системы.

В состав лазерного виброметра входят оптическая система, формирующая квадратурные составляющие доплеровского сигнала, и электронная система (рис.1).

## ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАЗЕРНОГО ВИБРОМЕТРА

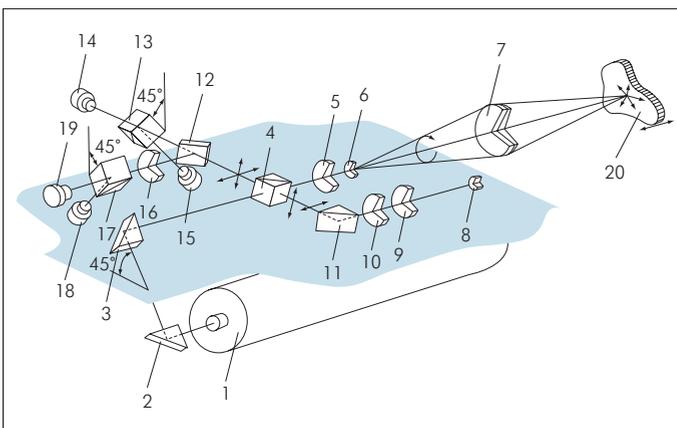
В основе оптической схемы виброметра лежит классическая схема интерферометра Майкельсона. Базовые структурные элементы оптической системы виброметра (рис.2): лазерный источник монохроматического излучения; телескопическая система, выполняющая функции приемо-передающей "опти-



ческой антенны"; оптическая система сопряжения волновых фронтов сигнальной и опорной волны типа "кошачий глаз"; фотоприемные модули балансного типа; оптический делитель-смеситель для формирования и пространственного совмещения опорного и сигнального лазерных пучков.

Сложность и особенности схемы обусловлены техническим назначением виброметра и связаны со значительным (на 5–7 порядков) ослаблением принимаемой световой мощности лазерного пучка, направляемого на объект, а также со спекл-структурой распределения интенсивности волнового фронта диффузно отраженного излучения лазера.

Лазерный пучок с линейной поляризацией от модифицированного лазера ГН-2П ( $\lambda=0,63$  мкм) поворотными призмами 2 и 3 направляется на полярирующий делитель 4, где разделяется на два пучка равной мощности: сигнальный (трасса 4, 5, 6, 7, 20) и опорный (трасса 4, 11, 10, 9, 8) со взаимно-ортогональными поляризациями. Телескопическая система (6, 7) в сигнальном плече интерферометра (кратность увеличения  $14\times$ ) предназначена для фокусировки излучения на поверхности объекта. Эта фокусировка должна быть достаточной для того, чтобы спекл-структура фронта отраженной волны ("спекл-поле") воспринималась, при соответствующем наведении излучения на объект, как квазиоднородная монохроматическая волна. Четвертьволновые фазовые пластины (5, 10) производят поворот поляризации сигнального и опорного пучков на  $90^\circ$  относительно исходных. Это необходимо для беспрепятственного прохождения ими поляризирующего делителя (4) в направлении к неполяризирующему делителю (12), ориентированному к пучкам под углом  $45^\circ$  и разделяющему каждый из них на два идентичных пучка. Лазерные пучки после делителя (12) попадают в фотоприемные модули (13, 14, 15) и (17, 18, 19), в состав которых входят по два фотоприемника на основе фотодиодов КДФ-113 и по одному делителю-поляризатору типа (4). Указанная на схеме ориентация делителей под углом  $45^\circ$  обеспечивает формирование сдвинутых по фазе на  $180^\circ$  интерференционных сигналов в каждой паре фотоприемников: (14, 15) и (18, 19) соответственно. Это позволяет при вычитании инвертированных электрических сигналов с выходов фотоприемников улучшить отношение сигнал/шум. Фазовая пластина (16) осуществ-



**Рис.2. Оптическая схема:** 1 – гелий-неоновый лазер ( $\lambda=0,63$  мкм); 2, 3, 11 – поворотные призмы; 4, 13, 17 – призмы-поляризаторы; 5, 10, 16 – четвертьволновые фазовые пластины; 6, 7 – окуляр и объектив телескопической системы; 8, 9 – диэлектрическое зеркало и объектив оптической системы фазового сопряжения волновых фронтов сигнального и опорного пучков; 12 – неполяризирующий делитель мощности лазерного пучка; 14, 15, 18, 19 – фотоприемники; 20 – исследуемый объект

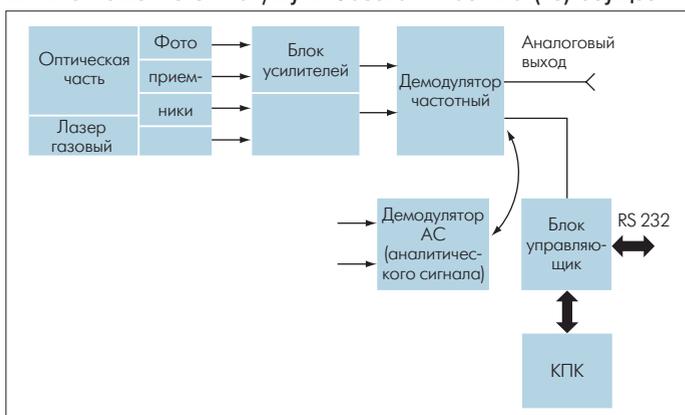
ляет относительный сдвиг фазы оптических сигналов на четверть периода, чтобы в фотоприемных модулях формировались квадратурные электрические сигналы.

### ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОГО ВИБРОМЕТРА

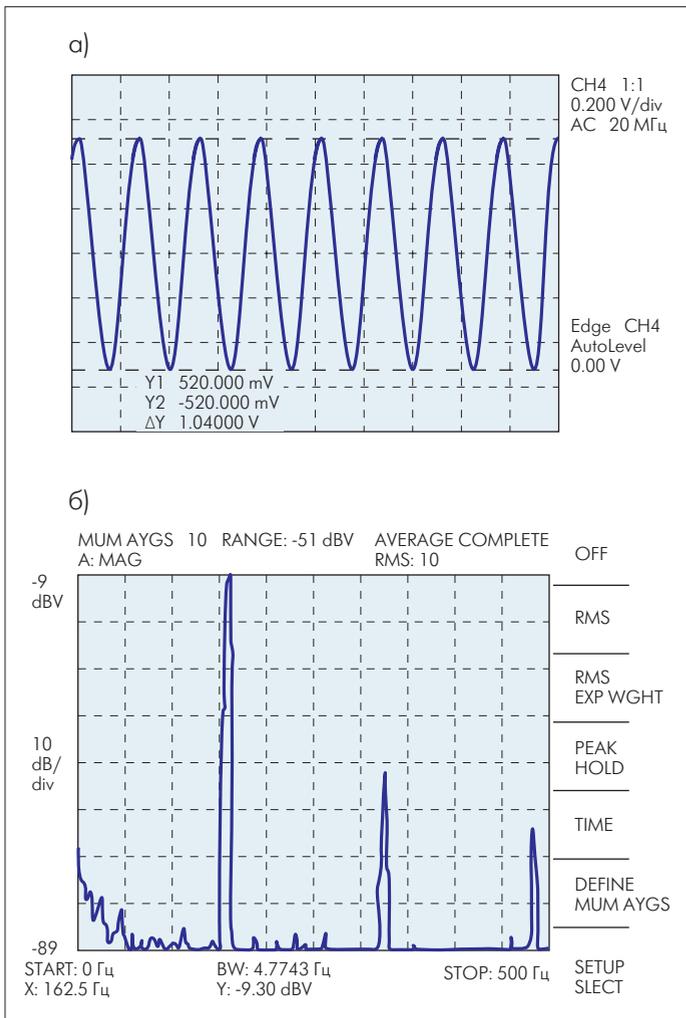
Электронная система состоит из фотоприемников, которые преобразуют оптические квадратурные составляющие доплеровских сигналов в соответствующие им электрические. Последние усиливаются в блоке малошумящих усилителей с системой автоматической регулировки усиления.

С выхода блока усилителей квадратурные доплеровские сигналы поступают на демодуляторы, которые их преобразуют в сигналы, пропорциональные мгновенным значениям виброскоростей исследуемого объекта.

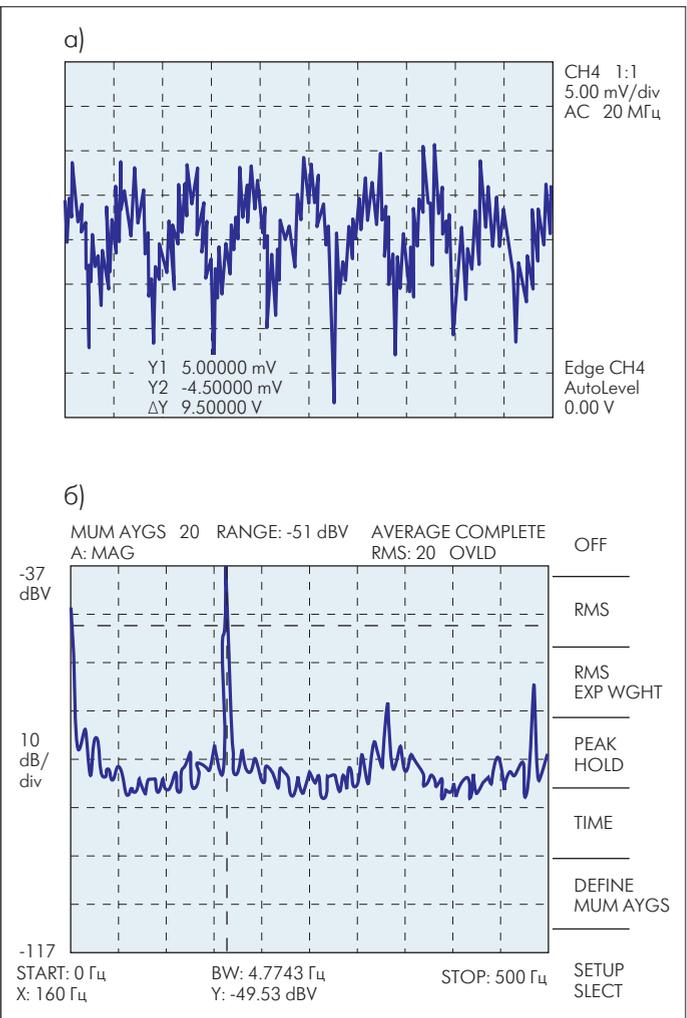
В системе присутствуют два вида демодуляторов: демодулятор частотный, предназначенный для формирования сигнала виброскорости от 50 до 0,2 мм/с, и демодулятор аналитического сигнала для формирования сигнала виброскорости от 1 до 0,01 мм/с. Демодуляторы построены на основе аналого-цифровых схем с применением микропроцессоров. С выходов демодуляторов аналоговый сигнал виброскорости пос-



**Рис.1. Функциональная схема лазерного виброметра**



**Рис.3. Сигнал виброскорости  $V=16$  мм/с с выхода лазерного анализатора вибраций: а) во временной области, б) в спектральной области**



**Рис.4. Сигнал виброскорости  $V=0,16$  мм/с с выхода лазерного анализатора вибраций: а) во временной области, б) в спектральной области**

тупает на выходной разъем и на вход управляющего блока, созданного на базе сигнального и управляющего микропроцессоров. Такое сочетание микропроцессоров позволило реализовать разные режимы работы управляющего блока: режимы осциллографа, анализатора спектра, а также связь с внешними устройствами по каналам RS-232 и USB (отображается информация об измерениях и обеспечивается управление режимами работы лазерного виброметра).

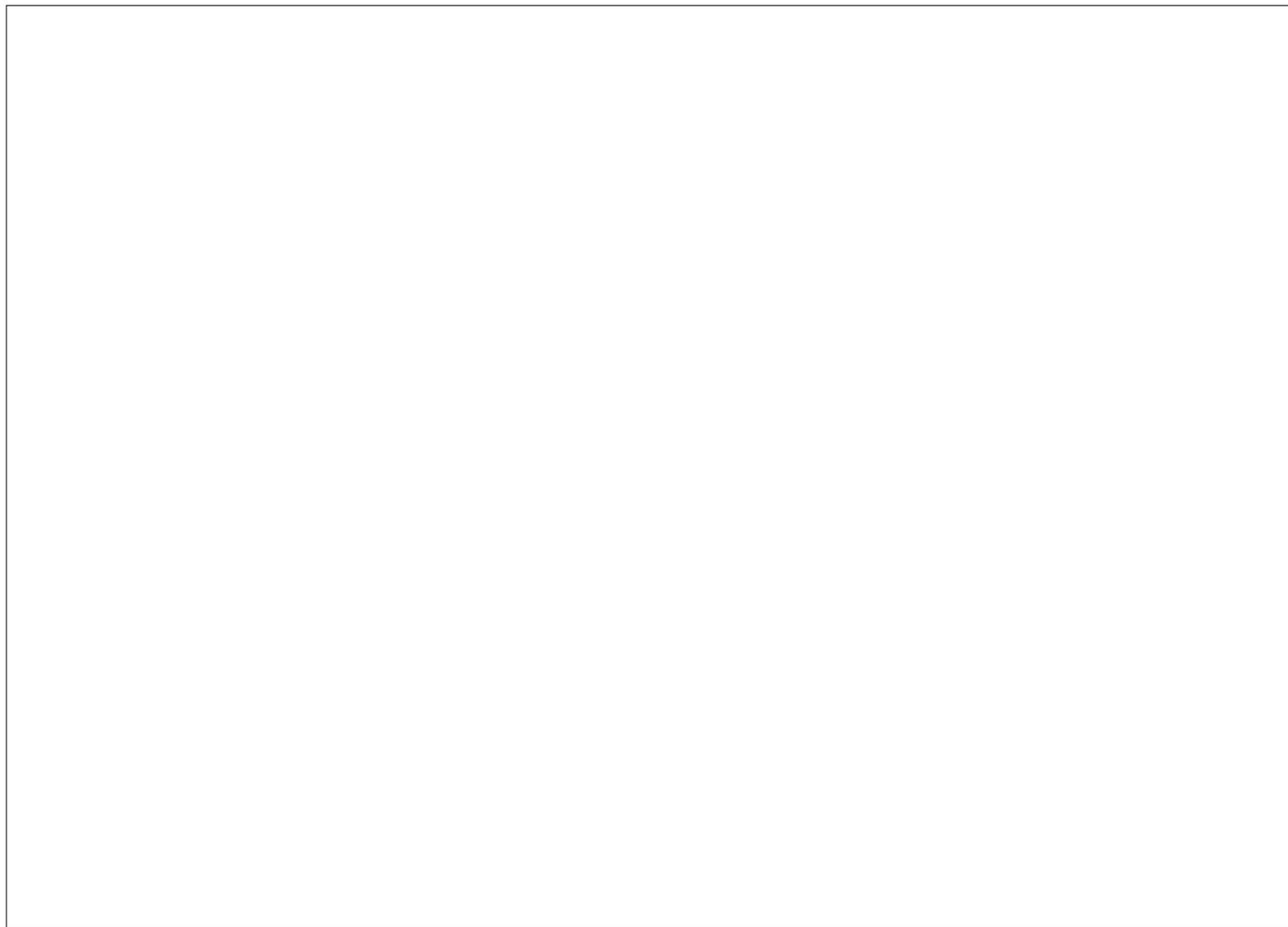
**СТРОИГ <SG>**

- ВСТАВКИ ПЛАВКИЕ: 3\*10 мм; 5\*20 мм; 6\*30 мм
- ТЕРМОПЛАВКИЕ ВСТАВКИ: Ток: 0,3 А-10 А; от 106 С до 170 С
- ДЕРЖАТЕЛИ ВСТАВОК ПЛАВКИХ: Аналог «ДВП4-2», «Лири»
- ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, ТУМБЛЕРА: Рокерные, тактовые, проходные, концевые, аналоги и тумблера Т-3
- АРМАТУРА ВИЛОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ: «Евро», штырь 4,0 мм, штырь 4,8 мм
- ПАТРОНЫ КЕРАМИЧЕСКИЕ ДЛЯ ЛАМП
- ТЕЛЕФОННЫЕ ШНУРЫ, РАЗЪЕМЫ: Вилки RJ-11 и RJ-45, переходники RJ-45
- ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ДИОДЫ: 3 кВ - 20 кВ; 5 мА-300мА
- Резисторы переменные СПЗ-400М
  - \*СПЗ-400 «а» М (аналог СПЗ-4; «а» М)
  - \*СПЗ-400 «в» М (аналог СПЗ-4 «в» М)
  - \*СПЗ-400 «д» М (аналог СПЗ-4 «д» М)
- ГОЛОВКИ ДИНАМИЧЕСКИЕ: Импорт и аналоги российских 0,5 ГДШ-16, 0,5ГДШ-2М, 1ГДШ-6, 1ГДШ-14, 3ГДШ-14, 3ГДШ-7, 3ГДШ-27, 15ГДШ-6Д, 15ГДШ-14
  - \*ВЧ, СЧ, НЧ головки
  - \*multimedia, mylar speaker
  - \*ceiling, wall speaker

198005, г.С.-Петербург, ул.Егорова, 23/Б  
Тел. (812) 713 08 10, Факс (812) 702 60 85  
www.strong.com.ru, e-mail: strong@home.ru



**Рис.5. Портативный лазерный виброметр**



Режим анализатора спектра считается типовым режимом работы лазерного виброметра. В этом режиме определяются значения резонансных частот исследуемых объектов и измеряются уровни сигналов малых значений виброскорости при наличии сопутствующих шумов различного происхождения. Если сравнить сигналы во временной и частотной областях (рис.3 и 4), то выявится очевидное преимущество спектрального подхода к измерению виброскорости. Так, если уменьшить амплитуду в 100 раз (см. рис.4), т.е. до -40 дБ относительно сигнала на рис.3, то корректно измерить амплитуду сигнала во временной области будет сложно из-за сильных шумов. В спектральной области амплитуда измеряется с гораздо меньшей погрешностью: разность между значениями 9,38 дБ и -49,53 дБ составляет -40,15 дБ.

Измерить значения виброскорости порядка 10 мкм/с и менее можно только в режиме спектрального анализа.

Технические характеристики портативного лазерного виброметра (рис.5):

Диапазон частот колебаний ..... 80 Гц–11 кГц

Диапазон измерения виброскорости.....0,01–50 мм/с

Погрешность измерения виброскорости:

в диапазоне 1–50 мм/с ..... 10%

в диапазоне 0,01–1 мм/с ..... 20%

Напряжение питания ..... 2 В

Потребляемая мощность ..... 20 Вт

Габариты ..... 430×240×160 мм

Масса ..... 12 кг

Прибор комплектуется карманным персональным компьютером для индикации результатов измерений в режиме осциллографа и анализатора спектра. При этом возможны дальнейшая математическая обработка и документирование результатов на флэш-карте. Лазерный виброметр метрологически обеспечен рабочим эталоном единиц параметров вибрации, который разработан совместно с виброметром и также включен в Государственный реестр средств измерений. ○

