

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

УДК 681.787; 535.41

В.С. Соболев¹, Е.Н. Уткин¹, Д.Е. Уткин²

¹ФГБУН Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Россия

630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1, E-mail: sobolev@iae.nsk.su

²ФГБУН Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, Россия

630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 13 E-mail: ifp@isp.nsc.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ВИБРОМЕТРА

В докладе решается вопрос о том можно ли, и если можно, то как, уменьшить влияние спекл-эффекта на амплитуду выходного сигнала и на отношение сигнал-шум лазерного доплеровского виброметра. Представлены результаты экспериментальных исследований и показано, что задача может быть решена увеличением числа фотодетекторов при соответствующей фазировке получаемых электрических сигналов перед их суммированием.

ЛАЗЕРНАЯ ВИБРОМЕТРИЯ, СПЕКЛЫ

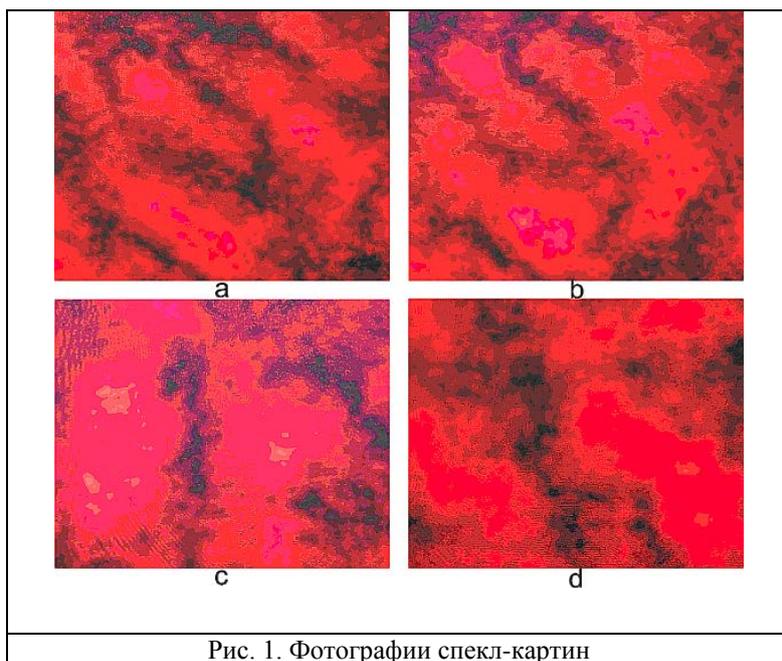
ВВЕДЕНИЕ

Известно, что при измерении вибраций диффузно рассеивающих объектов лазерным доплеровским виброметром амплитуда получаемого сигнала сильно зависит от положения сфокусированного лазерного луча на поверхности исследуемого объекта. Распределение амплитуд при изменении положения зондирующего пятна подчиняется закону Рэлея, то есть амплитуда может изменяться от нуля до достаточно больших значений. Связано это с так называемым спекл – эффектом, наблюдаемым при облучении диффузно рассеивающего объекта когерентным излучением [1, 2]. Это явление сильно затрудняет использование лазерного виброметра, так как с трудом удается найти точку на объекте, чтобы получить приемлемую амплитуду сигнала и высокое отношение сигнал – шум.

АНАЛИЗ СПЕКЛ-СТРУКТУР

Особенность регистрации рассеянного излучения состоит в том, что при перемещении рассеивающего объекта вдоль зондирующего луча на небольшое расстояние, спекл-картина практически не изменяется. Благодаря этому эффекту амплитуда сигнала при измерении продольных вибраций объекта остается неизменной, что может быть использовано для повышения отношения сигнал - шум. В тоже время поперечные смещения существенно меняют спекл-картину, что приводит к резким изменениям амплитуды сигнала. На Рис.1 показаны фотографии спекл-картин для случая, когда объект смещается на небольшое расстояние вдоль оси зондирующего луча (a,b) и поперек его (c,d).

Отметим, что в стандартных виброметрах в апертуру приемника попадает вся спекл-картина, что как уже указывалось, требует поиска оптимальной точки на поверхности исследуемого объекта. Возникает вопрос: можно ли снизить влияние спекл- эффекта в смысле более быстрого поиска оптимальной точки и увеличения отношения сигнал – шум?



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы ответить на поставленный выше вопрос, был проведен следующий эксперимент. Вместо одного фотодетектора, который воспринимает суммарное излучение от всей спекл-картины, было решено использовать два или несколько фотодетекторов, каждый из которых будет принимать излучение от различных участков спекл-картины. Эта идея основана на указанном выше факте: если исследуемый объект вибрирует в направлении зондирующего пучка, то спекл картина остается неизменной.

Суть эксперимента состояла в следующем. Зондирующий лазерный пучок в виде пятна малых размеров фокусировался на шероховатую поверхность объекта, вибрирующего в направлении оси этого пучка. На выходе интерферометрической части виброметра были установлены два близко расположенных фотодетектора таким образом, чтобы на один из них попадало одно светлое пятно спекл-картины, а на второй - любое другое. Функциональная схема установки представлена на Рис.2., а на Рис. 3 показана фотография ее внешнего вида.

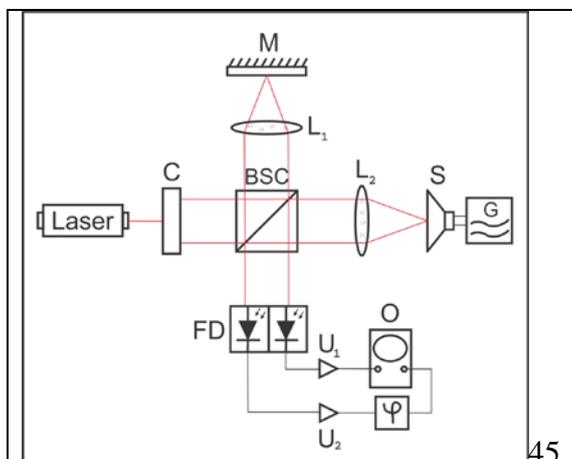


Рис. 2. Функциональная схема

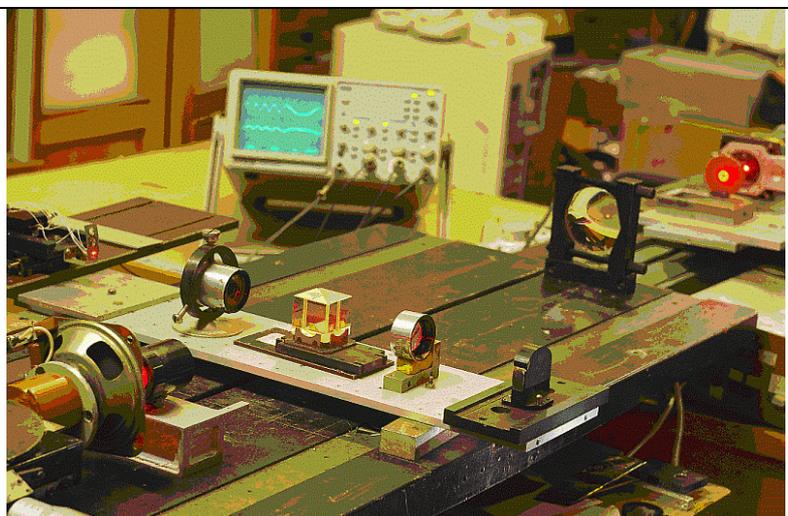


Рис. 3. Внешний вид стенда

Оптическая схема была выполнена в виде интерферометра Майкельсона. Луч гелий-неонового лазера поступал на коллиматор С, формировавший широкий параллельный пучок, который, затем, пройдя через светоделительный кубик BSC, попадал на неподвижное зеркало М через линзу L₁ и на звуковой динамик S через линзу L₂. Свет, рассеянный диффузором динамика, собирался линзой L₂ и направлялся кубиком BSC на фотоприемник FD с двумя отдельными, близко расположенными фотоплощадками. Опорным лучом служил луч, отраженный от зеркала М, который в виде плоской волны приходил одновременно на обе фотоприемные площадки приемника FD. Амплитуду и частоту вибраций динамика задавал звуковой генератор G. Выходные сигналы фотоприемника U₁ и U₂ подавались на двухлучевой осциллограф О, который позволял одновременно видеть оба интерференционных сигнала и определять сдвиг фаз между ними. Многократно повторенные эксперименты при различных положениях зондирующего пятна на объекте показали, что разность фаз между сигналами меняется случайным образом в диапазоне от $+\pi$ до $-\pi$. Соответствующие осциллограммы представлены на Рис.4 для трех позиций зондирующего пятна, когда сигналы находились в фазе, противофазе и со сдвигом примерно на $\pi/2$.



Рис. 4 Осциллограммы сигналов в фазе, противофазе, и со сдвигом на $\pi/2$

Этот результат говорит о том, что фаза поля каждого яркого спекл-пятна случайна и независима от фазы поля остальных спеклов. Далее в канале одного из детекторов был установлен фазовращатель Ψ (см. Рис. 2), с помощью которого можно было выравнивать фазы обоих сигналов. При синфазном суммировании сигналов амплитуда суммарного сигнала увеличивалась вдвое, в то время как среднеквадратичное значение шума увеличивалось только в корень из двух, то есть выигрыш в отношении сигнал - шум в сравнении со случаем, когда использовался бы один общий детектор, составил 1,41. Если же вместо двух использовать N детекторов, то после синфазного суммирования выигрыш в отношении сигнал – шум составит корень квадратный из N. Применение фотоматрицы с числом элементов 100x100 может (теоретически) дать стократный выигрыш в отношении сигнал-шум.

Второй эксперимент был выполнен с целью оценки равномерности фазового фронта рассеянного поля в одном спекловом пятне. Мерой неоднородности волнового фронта служила величина максимального контраста получаемого интерференционного сигнала при смене ярких пятен спекла и соответствующем изменении мощности опорного пучка. Оказалось, что контрастность сигнала достаточно велика и изменяется от 0.5 до 1. Это говорит о том, что волновой фронт яркого спекла достаточно равномерен, и, следовательно, при небольших поперечных сдвигах спекловых пятен потери в амплитуде сигнала незначительны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение фотоматрицы и соответствующего алгоритма обработки сигналов, получаемых от каждого ее пикселя (то есть фазирования сигналов каждого из них с помощью соответствующей компьютерной программы), позволит исключить поиск положения зондирующего пучка, так как практически всегда большое число пикселей матрицы будут облучены яркими спекл пятнами. Что касается отношения сигнал – шум, то, как уже упоминалось, если облученных яркими спеклами пикселей матрицы будет много, то отношение сигнал-шум по сравнению с использованием одного общего фотодетектора увеличится в корень квадратный из их числа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франсон М. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980.С. 176.
2. Рябухо В.П, Ульянов С.С. Амплитудно-фазовая модуляция спекл-интерферометра вибраций сигнала // Письма в ЖТФ. 1991. Т.17. Вып.13. С.11-15.

V.S. Sobolev¹, E.N. Utkin¹, D.E. Utkin²

¹*Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Russia
630090, Novosibirsk, Acad. Koptug Ave., 1. E-mail: iae@iae.nsk.su*

²*Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Russia
630090 Novosibirsk, pr. Lavrentieva 13, E-mail: ifp@isp.nsc.ru*

LASER DOPPLER VIBROMETER OPTIMIZATION

The report solve the problem of whether, and if so, how to reduce the influence of the speckle effect on the amplitude of the output signal and the signal-to-noise laser Doppler vibrometer. Experimental results shown that the problem can be solved by increasing the number of photo-detectors for the corresponding phasing before summing received electrical signals.

LASER VIBROMETER, SPECKLES