

УДК 535.8

## ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

© 2011 г.

*М.Н. Осипов, Ю.Д. Щеглов*

Самарский госуниверситет

osipov@ssu.samara.ru

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

Представлен оптоэлектронный спекл-интерферометр, для прецизионного бесконтактного контроля ответственных элементов и узлов конструкций, обнаружения внутренних дефектов слоистых материалов или остаточных напряжений в деталях, изучения формы собственных резонансных колебаний объектов, визуализации оптических неоднородностей в фазовых объектах и т.п. Отличительной особенностью его является то, что в качестве опорного сигнала используется высокочастотная спекл-структура от диффузного объекта. Предложен метод расшифровки интерферограмм, заключающийся в том, что формируется виртуальная поверхность – сплайн, т.е. математическая функция, описывающая деформацию поверхности реального объекта. Эта позволяет упростить и ускорить процесс расшифровки экспериментальных интерферограмм. Разработанный оптоэлектронный спекл-интерферометр применен для экспериментального исследования динамики деформирования поверхностей при воздействии температурных полей.

*Ключевые слова:* оптические методы измерений, спекл интерферометрия, голография, расшифровка интерферограмм, цифровая запись информации, цифровая обработка сигнала.

### Введение

Методы когерентной оптики представляют собой уникальную технологию, которая позволяет контролировать одновременное смещение точек сразу всей доступной наблюдению поверхности объекта. Такой панорамный, многоканальный способ измерения позволяет определить не только линейные и угловые перемещения, но и деформацию объекта. Из хорошо известных принципов интерферометрии следует, что случайные изменения геометрии измерительной схемы не должны превышать сотых долей микрометра. Поэтому классическая реализация интерферометрических измерений предполагает использование массивной виброизолированной платформы, установку исследуемого объекта непосредственно на платформе и обеспечение условий измерения, исключающих помехи в виде тепловых потоков и вибраций либо применения высокоскоростной регистрации. Как правило, интерферометрические установки стационарны, требуют механического контакта с контролируемым объектом и нуждаются в специальных помещениях, в которых исключены побочные источники вибраций и тепловых потоков.

Расшифровка экспериментальных интерферограмм является чрезвычайно трудоемким процессом, в результате которого могут появляться

неоднозначные ответы.

Из сказанного следует, что разработка устройств и методов расшифровки, которые позволяют расширить сферу применения методов когерентной оптики для экспериментальных исследований в механике, является актуальной задачей.

Представлен оптоэлектронный помехоустойчивый спекл-интерферометр (ОЭСИ), предназначенный для прецизионного бесконтактного измерения и контроля ответственных элементов и узлов конструкций, обнаружения внутренних дефектов в слоистых материалах или остаточных напряжений в деталях, изучения формы собственных резонансных колебаний объектов, визуализации оптических неоднородностей в фазовых объектах и т.п.

### Оптоэлектронный спекл-интерферометр

Основными элементами спекл-интерферометра являются: лазерный модуль LCM-S-111-50-NP25 (длина волны 532 нм, мощность 50 мВт, длина когерентности 50 м), цифровая видеочкамаера ВИДЕОСКАН-285/П-USB с размером ячейки 6.45×6.45 мкм, разрешением 1392×1040 пикселей и скоростью записи информации 7.7 Гц. Одной из особенностей разработанного ОЭСИ является то, что в качестве опорного сигнала используется

диффузно-рассеянное излучение. При такой оптической схеме можно контролировать взаимное распределение интенсивностей в спекл-структурах опорного и предметного пучков. Для получения интерферограммы приемлемого качества опорный сигнал должен быть согласован с предметным сигналом. Во-первых, для получения детального равновесия с предметным сигналом, имеющим спекл-структуру, опорный сигнал также должен иметь вид спекл-структуры. Во-вторых, приблизительно одинаковыми должны быть законы распределения по яркости пятен в спекл-структурах предметного и опорного сигналов. Теоретически и экспериментально показано, что для получения интерферограммы приемлемого качества необходимо хотя бы приблизительное равенство наиболее вероятных яркостей точек предметного и опорного сигналов.

Для выполнения этих требований в разработанном программном обеспечении предусмотрена специальная функция для определения и отображения соответствующих гистограмм яркости. На рис. 1 представлены гистограммы опорного (а) и предметного (б) сигналов до регулировки.

Из рисунков видно, что гистограммы сигналов не совпадают, поэтому требуется их балансировка. Для этих целей в устройстве предусмотрена регулировка интенсивности опорного канала с помощью аттенюатора, а регулировка интенсивности предметного сигнала осуществляется апертурной диафрагмой объектива. На рис. 1в показана фотография спекл-интерферограммы после выравнивания гистограмм предметного и опор-

ного сигналов. По фотографии видно, что высокочастотная текстура, обусловленная использованием шумового опорного сигнала, практически не ухудшает различимость мелких деталей интерференционной картины.

Для подавления вредного влияния внешних случайных (с нулевым средним) колебаний измерительной оптической схемы используется регистрация массива кадров и последующее усреднение изображения интерферограммы по этим кадрам.

### Расшифровка интерферограмм

Принцип расшифровки интерферограммы, реализованный авторами, заключается в моделировании такой виртуальной волны с гладким криволинейным волновым фронтом – сплайна, которая, интерферируя с плоской волной, давала бы интерференционную картину, по расположению полос совпадающую с экспериментально полученной интерферограммой. Условно назовем ее псевдоинтерферограммой. На рис. 2а на фоне экспериментальной интерферограммы показана исходная, не откорректированная, псевдоинтерферограмма непосредственно после ее формирования.

Видно, что некоторые темные полосы псевдоинтерферограммы не совпадают с соответствующими полосами экспериментальной интерферограммы. Программное обеспечение разработанного оптоэлектронного спекл-интерферометра позволяет «отрихтовать» сплайн так, чтобы

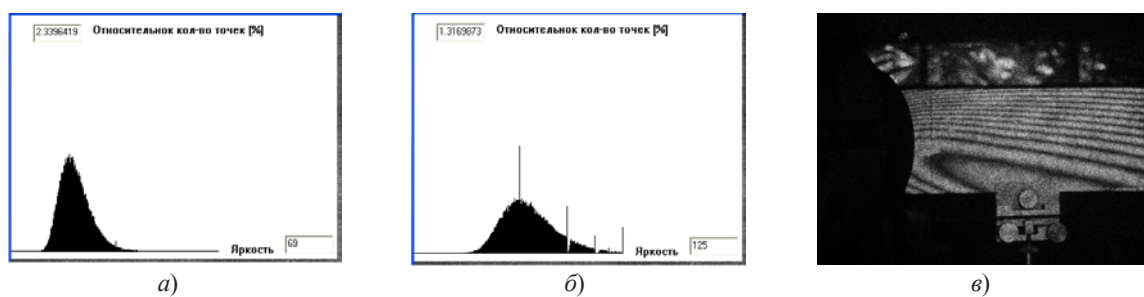


Рис. 1

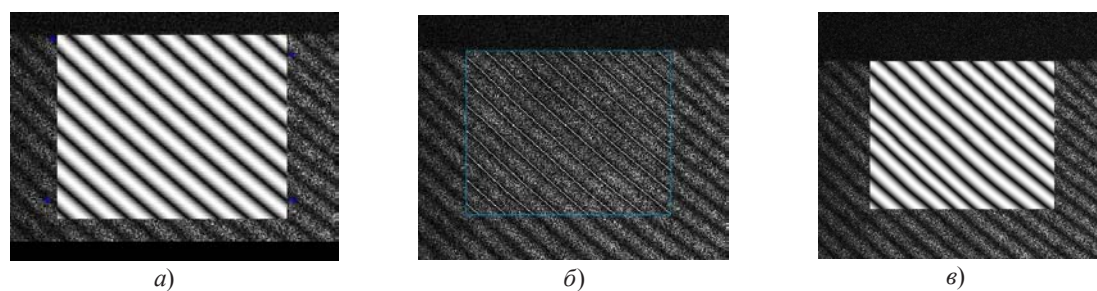


Рис. 2

срединные линии псевдоинтерферограммы проходили посредине полос исходной интерферограммы, как показано, например, на рис. 2б. Псевдоинтерферограмма, соответствующая отредактированному сплайну, представлена на рис. 2в. В программном обеспечении предусмотрено по «отрихтованным» интерферограммам построение топограмм смещений – семейство линий равной величины смещений (изотоп), а также по топограммам однозначно определяется величина линейного смещения точек объекта.

### Заключение

Разработанный оптоэлектронный помехоустойчивый спекл-интерферометр позволяет производить исследование полей перемещений как при статических, так и при динамических испытаниях различных элементов конструкций в промышленных условиях при наличии внешних шумов.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №08-08-00971.*

## THE OPTOELECTRONIC SPECKLE-INTERFEROMETER FOR THE MEASUREMENTS OF FIELDS OF DISPLACEMENTS

*M.N. Osipov, Yu.D. Scheglov*

The optoelectronic speckle-interferometer designed for precision contactless control of critical elements and units of engineering structures, detection of internal defects of layered materials or residual pressure in details, studying the form of natural resonant fluctuations of objects, visualization of optical inhomogeneity in phase objects, etc. is presented. A distinctive feature of the speckle interferometer is that the high-frequency speckle-structure of the diffused object is used as a basic signal. The method of decoding of interferograms is presented, where the virtual surface – a spline is formed, i.e. a mathematical function describing deformation of the surface of a real object is offered. The given technique allows simplifying and accelerating the process of processing of experimental interferograms. The optoelectronic speckle-interferometer described in this article is used to experimentally investigate the dynamics of deformation of surfaces under the effect of temperature fields.

*Keywords:* optical methods of measurements, speckle-interferometry, holography, processing of interferograms, a digital data recording, digital processing of a signal.