

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

М. Н. Осипов, А. Н. Чекменев, В. А. Хохлов

*Самарский Государственный Университет,  
osipov@samsu.ru, a.chekmenev@samsu.ru, vadim.a.khokhlov@gmail.com*

Существующие математические модели деформации и методы прогнозирования не позволяют, в конечном счете, учитывать в полном объеме все реальные условия эксплуатации конструкции. Необходима разработка экспериментальных средств измерений, позволяющих получать не только качественные, но и количественные результаты при динамических и статических нагрузках, прикладываемых к исследуемому объекту. Бесконтактные оптические методы исследования являются наиболее перспективными, так как они не оказывают влияния на исследуемую конструкцию при проведении экспериментальных измерений, что приводит к увеличению точности и достоверности получаемых результатов [1]. Среди оптических методов необходимо выделить метод цифровой спекл-интерферометрии. Цифровая спекл-интерферометрия имеет ряд ограничений, связанных с наличием собственного шума – спеклы, который приводит к снижению чувствительности и точности измерения. Для исследования, как правило, используются два основных метода: метод усреднения по времени и метод двух экспозиций.

В данной работе предложен новый метод исследования динамических процессов объектов на основе анализа распределения интенсивности одиночного спекла. Данное решение позволяет преодолеть такие ограничения, как существование собственного шума в цифровой спекл-интерферометрии, и кроме того позволяет проводить исследование динамических процессов в реальном времени.

Различают два вида спекл-картин [2]: объективная – формируется во всем пространстве перед освещаемой поверхностью; субъективная – формируется при регистрации исследуемой диффузно-отражающей поверхности с помощью оптической системы в плоскости изображения. Регистрация субъективных спекл-структур позволяет однозначно связать конкретную точку на изображении исследуемой поверхности, покрытом спекл-структурой, с соответствующей точкой этой поверхности.

Динамические процессы, возникающие на поверхности объекта исследования, приводят к изменению параметров спекл-картины в пространстве и времени, что связано с изменением фазы спекла, а размеры субъективных спеклов не зависят от динамики исследуемой поверхности.

Рассмотрим возможность определения изменений исследуемой поверхности за счет регистрации изменения интенсивности спекла, которая в свою очередь происходит за счет изменения фазы, меняющейся в зависимости от изменения оптического пути при смещении исследуемой поверхности. Изменение значения фазы спекла на  $\pm\pi (2n+1)$ , ( $n=0,1,2, \dots$ ) приводит к изменению интенсивности спекла от минимального до максимального значения и наоборот.

Для эффективной регистрации изменения фазы спекла необходимо использовать опорный пучок лазерного излучения, который накладывается на спекл-картину, в результате чего формируется вторичная интерференционная картина, и необходимо выполнение следующих условий: ширина вторичных интерференционных полос должна быть согласована с поперечным размером спекла, а также с размером чувствительного элемента фотодетектора. Также, чтобы чувствительный элемент фотодетектора был

способен зафиксировать изменение фазы спекла, необходимо, чтобы ширина вторичных интерференционных полос была больше или равна размеру чувствительного элемента фотодетектора.

Таким образом, предлагаемый способ измерения изменения интенсивности спекла, позволяет исследовать динамические процессы, происходящие с исследуемой диффузной поверхностью.

Рассмотрим теоретические основы предлагаемого способа. Запишем величину вектора напряженности опорной электромагнитной волны на фотодетекторе в следующем виде [3]:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 e^{i(kx_1 - \omega t + \varphi)}, \quad (1)$$

а величину вектора напряженности предметной электромагнитной волны на фотодетекторе в следующем виде:

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_0 e^{i(kx_2 - \omega t + \varphi)}, \quad (2)$$

где  $k=2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  – длина волны лазерного излучения,  $x_1$  и  $x_2$  – расстояния от лазерного источника до фотодетектора вдоль оптического пути опорной и предметной волн соответственно.

При измерении динамики исследуемой поверхности происходит ее смещение, то  $x_2$  представим в следующем виде:

$$x_2 = x_2 \pm 2\Delta r, \quad (3)$$

где  $\Delta r$  – смещение поверхности.

Так как фотоприемник регистрирует интенсивность, то распределение интенсивности спекла в интерференционной картине будет иметь следующий вид:

$$I(x, t) = |(\vec{E}_1 + \vec{E}_2)|^2 \cong 2E_0^2 \{1 + \cos[k(x_1 - x_2 \mp 2\Delta r)]\}, \quad (4)$$

Как следует из уравнения (10) и как было отмечено выше, интенсивность спекла меняется от минимального до максимального значения и наоборот в зависимости от смещения  $\Delta r$  исследуемой поверхности. Изменение интенсивности спекла на входе фотоприемника преобразуется в изменение выходного напряжения фотоприемника, которое можно представить следующим образом:

$$u(t) = A + B \cos[\varphi(0) - \varphi(t)], \quad (5)$$

где  $\varphi(0)=k(x_1-x_2)$ ,  $\varphi(t)=\pm 2k\Delta r$ .

Из анализа выражения (5) следует, что изменение выходного напряжения от минимального до максимального соответствует смещению исследуемой поверхности  $\Delta r$  на величину равную  $\lambda/4$ .

Преимущества данного метода заключаются в том, что его использование не требует тщательной юстировки элементов оптической системы, позволяет преодолеть ограничения, которые связаны с существованием собственного шума в цифровой спекл-интерферометрии. Кроме того, предлагаемый метод позволяет регистрировать динамические процессы в механике деформируемого твердого тела в реальном времени.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-08-00390-а.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Осипов М.Н., Попов М.А., Попова Т.А. Поведение выходного сигнала в системе измерения на основе оптоэлектронного интерферометра Майкельсона // Ползуновский вестник. 2011. №3/1. С. 38-41.
2. Франсон М. Оптика спеклов. – М.: Издательство «Мир», 1980. – 172 с.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Издательство «Наука», 1973. — 720 с.