



8. Candes, E. J. PhaseLift: Exact and Stable Signal Recovery from Magnitude Measurements via Convex Programming// E. J. Candes, Th. Strohmer, V. Voroninski// Available online: arXiv: 1109.4499.

9. Хорн, Р. Матричный анализ/Р. Хорн, Ч. Джонсон. М.: Мир, 1989. 655 с.

М.Н. Осипов, Н.А. Шарафутдинов, Ю.Д. Щеглов, И.Н. Фалилеев, М.Е. Федина

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

(Самарский государственный университет)

Классическая реализация интерферометрических измерений предполагает обеспечение жестких условий измерения, исключающих различного рода помехи. Как правило, интерферометрические установки стационарны и часто требуют механического контакта с контролируемым объектом. Расшифровка экспериментальных интерферограмм также является чрезвычайно трудоемким процессом, в результате которого могут появляться неоднозначные результаты. Особое внимание в настоящее время уделяется интерферометрическим методам основанных на применении цифровой спекл-интерферометрии. Цифровая спекл-интерферометрия позволяет исследовать реальные объекты в отличие от классической интерферометрии. Однако процесс записи и обработки интерферограмм в полном объеме не автоматизирован. Также не в полном объеме решены задачи определения частотных характеристик элементов механических конструкций при динамических нагрузках [1-5].

В данной работе представлена автоматизированная система определения форм колебаний и частотных характеристик колебательного процесса, состоящая из оптоэлектронного помехоустойчивого спекл-интерферометра с пакетом прикладного программного обеспечения.

Разработанный оптоэлектронный спекл-интерферометр представлен на рисунке 1. Основными элементами спекл-интерферометра являются: лазерный модуль LCM-S-111-50-NP25 (длина волны 532 нм, мощность 50 мВт, длина когерентности более 50 м), цифровая видеокамера ВИДЕОСКАН-285/П-USB с размером ячейки 6.45x6.45 мкм, разрешением 1392x1040 пикселей и скоростью записи информации 7.7 Гц [6].

Одной из особенностей разработанного оптоэлектронного спекл-интерферометра является то, что в качестве опорного сигнала используется диффузно-рассеянное излучение. При такой оптической схеме можно контролировать взаимное распределение в спекл-структурах опорного и предметного пучков и, следовательно, нет жестких требований на гладкость волнового фронта опорной волны. Для получения интерферограммы приемлемого качества опорный сигнал должен быть согласован с предметным сигналом. Теоретически и экспериментально показано, что для этого необходимо хотя бы при-



близительное равенства наиболее вероятных яркостей точек предметного и опорного сигналов.



Рис. 1. Внешний вид оптоэлектронного спекл-интерферометра

Для выполнения этих требований в разработанном программном обеспечении предусмотрена специальная функция для определения и отображения соответствующих гистограмм яркости. Для уравнивания яркостей в устройстве предусмотрена регулировка интенсивности опорного сигнала с помощью аттенюатора, а регулировка интенсивности предметного сигнала осуществляется апертурной диафрагмой объектива. Также для повышения четкости изображения применяется подавление вредного влияния внешних случайных (с нулевым средним) колебаний измерительной оптической схемы путем регистрация массива кадров и последующее усреднение изображения интерферограммы по этим кадрам.

Принцип расшифровки интерферограммы, реализованный в разработанной автоматизированной системе, 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 экспериментальной полученной интерферограммой. В результате получается псевдоинтерферограмма. На рисунке 2 на фоне экспериментальной интерферограммы представлена наложенная псевдоинтерферограмма.

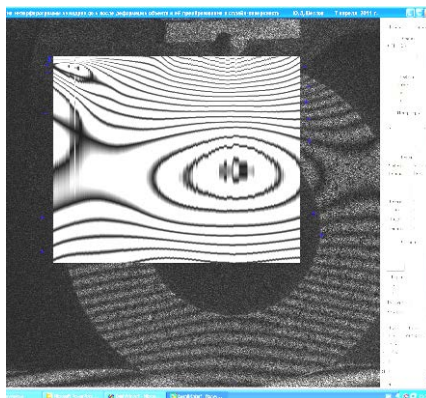


Рис. 2. Экспериментальная спекл-интерферограмма с участком наложенной откорректированной псевдоинтерферограммой



Программное обеспечение, разработанного оптоэлектронного спекл-интерферометра, позволяет «отрихтовать» сплайн так, чтобы срединные линии псевдоинтерферограммы проходили посередине полос исходной интерферограммы, как показано на рисунке. 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. Такое решение позволяет ускорить процесс обработки спекл-интерферограмм и повысит точность определения полей перемещений.

Разработанный оптоэлектронный помехоустойчивый спекл-интерферометр позволяет производить исследование полей перемещений, как при статических, так и при динамических испытаниях различных элементов конструкций в условиях наличия внешних шумов. Однако наличие собственных шумов – спекл структур, ограничивает диапазон измерения частотных характеристик колебаний исследуемых конструкций, как по амплитуде, так и по частоте. Для решения данной проблемы в конструкцию оптоэлектронного спекл-интерферометра введен дополнительно быстродействующий точечный фотодетектор. Оптическая схема оптоэлектронного спекл-интерферометра представлена на рисунке 3.

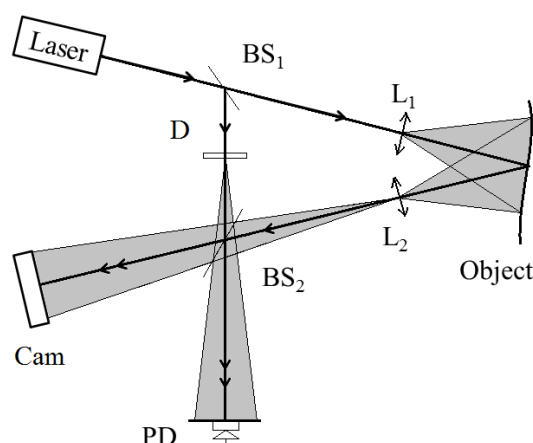


Рис. 3. Оптическая схема оптоэлектронного спекл-интерферометра

В данной схеме лазерное излучение с помощью делителя  $BS1$  расщепляется на два луча, один из которых (предметный) с помощью оптической системы  $L1$  освещает исследуемый объект. Отраженное излучение от объекта с помощью оптической системы  $L2$  (объектив видеокамеры) формирует изображение исследуемой поверхности в плоскости ПЗС-матрицы видеокамеры ( $Cam$ ) и в плоскости быстродействующего фотодетектора  $PD$ . Вторым луч (опорный), проходя через диффузор  $D$  и делитель  $BS2$ , накладывается на предметный пучок, образуя вторичную интерференционную картину в плоскости ПЗС-матрицы видеокамеры ( $Cam$ ) и в плоскости быстродействующего фотодетектора  $PD$ . Как результат, в данной оптической схеме одновременно регистрируется – быстродействующим фотодетектором  $PD$  изменение интенсивности одиноч-



ного спекла, а видеокамерой регистрируется спекл интерферограммы, определяющие формы колебаний. Размеры рабочей поверхности быстродействующего точечного фотодетектора PD должны быть согласованы с размерами объективной спекл структуры и периодом вторичных интерференционных полос образованных в плоскости фотодетектора. Данные условия выполняются подбором параметров оптической схемы – диафрагма, фокусное расстояние, наклон опорного пучка относительно предметного пучка [7].

На рисунке 4 представлены спекл-интерферограммы колебаний тонкой металлической мембраны с жёсткой обечайкой, возбужденных на собственных частотах, которые зарегистрированы разработанным спекл-интерферометром.

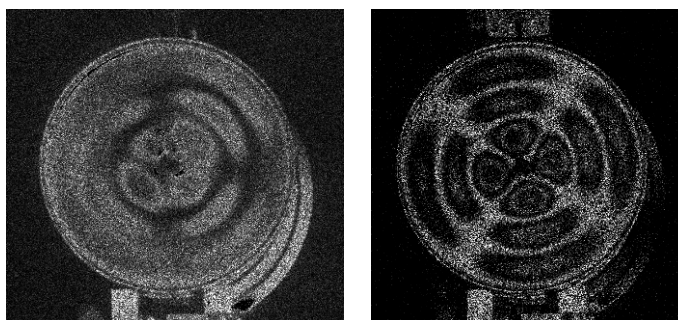


Рис. 4. Спекл-интерферограммы собственных частот колебаний металлической мембраны

Поведение выходного напряжения с фотодетектора имеет сложный характер. Как показано в работах [7-10], при перемещениях исследуемой поверхности на величину меньше  $\lambda/8$  выходное напряжение фотодетектора полностью соответствует данному перемещению. При перемещениях больше  $\lambda/8$ , вид выходного напряжения фотодетектора имеет сложный характер и представляет набор осциллирующих пакетов. При исследовании собственных колебаний, вид осциллирующих пакетов выходного напряжения фотодетектора имеет периодический характер. Характерный вид осциллограммы выходного напряжения фотодетектора для резонансных колебаний исследуемой поверхности с амплитудой больше  $\lambda/8$ , на представлен на рисунке 5.

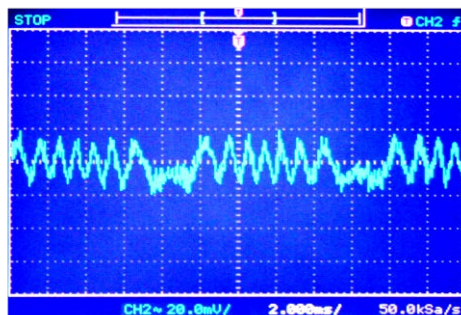


Рис. 5. Осциллограмма выходного напряжения быстродействующего фотодиода при колебании исследуемой поверхности с амплитудой больше  $\lambda/8$ .





Количество осцилляций внутри пакета пропорционально удвоенной амплитуде собственных колебаний. Для данной оптической схемы одно полное колебание внутри пакета соответствует перемещению исследуемой точки поверхности на величину равную  $\lambda/2$ . Таким образом, амплитуда колебаний поверхности составляет порядка  $7\lambda/4$ . Верхняя граница измерения амплитуды колебаний определяется быстродействием фотодетектора и разрядностью регистрирующего модуля и может составлять нескольких миллиметров, что существенным образом расширяет диапазон измеряемых перемещений.

Период следования осциллирующих пакетов соответствует удвоенной частоте собственных колебаний исследуемой точки поверхности.

Таким образом, представленный автоматизированный оптоэлектронный спекл-интерферометр позволяет регистрировать бесконтактным способом основные частотные характеристики собственных колебаний в широком диапазоне с использованием предлагаемого метода цифровой спекл-интерферометрии.

### Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 15-08-06330-а и № 13-01-97009-а.

### Литература

1. Wang Wei-Chung, Jiong-Shiun Hsu. Investigation of vibration characteristics of bonded structures by time-averaged electronic speckle pattern interferometry. // *Optics and Lasers in Engineering*. 2010. 48, P. 958–965.
2. Yang L.X., Schuth M., Thomas D., Wang Y.H. Stroboscopic digital speckle pattern interferometry for vibration analysis of microsystem. // *Optics and Lasers in Engineering*. 2009. 47, P. 252–258.
3. Santoyo F.M., Pedrini G., Schedin S., Tiziani H.J. 3D displacement measurements of vibrating objects with multi-pulse digital holography. // *J. Meas. Sci. Technol.* 1999. №10, December, P. 1305-1308.
4. Peter Martin, Steve Rothberg Introducing speckle noise maps for Laser Vibrometry. // *Optics and Lasers in Engineering*. 2009. 47, P. 431–442.
5. Arai Y., Hirai H., Yokozeki S. High-resolution dynamic measurement using electronic speckle pattern interferometry based on multi-camera technology. // *Optics and Lasers in Engineering*. 2008. 46, P. 733–738.
6. Осипов М.Н., Щеглов Ю.Д. Оптоэлектронный спекл-интерферометр для определения полей перемещений // *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2011. № 4. Ч. 4. Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, С. 1672–1675.
7. Осипов М.Н., Фалилеев И.Н., Чекменев А.Н., Щеглов Ю.Д. Применение спекл-интерферометрии для регистрации акустического сигнала // *Ползуновский вестник*. 2012. № 3/2. С. 87–92.
8. Осипов М.Н., Попов М.А. Измерения малых динамических смещений интерферометром Майкельсона со сферическими волновыми фронтами // *Компьютерная оптика, Самара–Москва, ИСОИ РАН*. 2007. Т. 31. № 4. С. 55–57.



9. 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

10. Осипов М.Н., Хохлов В.А., Чекменев А.Н. Развитие цифровой спекл интерферометрии для исследования динамических процессов в реальном времени // Вестник СамГУ. 2013. № 9/2 (110). С. 109-117.

П.Н. Полежаев, Л.С. Адрова

## РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В КОРПОРАТИВНЫХ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

(Оренбургский государственный университет)

В настоящее время существующие технологии управления корпоративными сетями обладают целым рядом недостатков, включая:

а) ограниченные возможности по управлению трафиком в существующих сетевых протоколах (приоритизация, QoS, управление перегрузками, состоянием полос);

б) проблему выбора мест установки для программно-аппаратных инструментов защиты (IDS, DLP-сенсоров, межсетевых экранов и т.п.);

в) индивидуальное задание правил функционирования для каждого инструмента (ошибки конфигурирования);

г) огромное количество активных протоколов (более 600);

д) необходимость наличия высококвалифицированных специалистов для настройки оборудования и/или разработки собственных сетевых решений;

е) большая стоимость и закрытость сетевого оборудования и инструментов защиты.

Для решения обозначенных проблем может быть использована технология программно-конфигурируемых сетей (ПКС) [1]. Принципы работы ПКС детально описаны в [2], в рамках данной публикации сосредоточимся на описании архитектуры системы защиты информации в ПКС, разрабатываемой в качестве компонента системы управления корпоративными ПКС [3].

В рамках данного исследования была предложена архитектура системы защиты информации в корпоративной программно-конфигурируемой сети, изображенная на рисунке 1. Данная архитектура включает в себя ряд модулей, которые должны быть разработаны для системы защиты информации:

а) Модуль аутентификации – поддерживает аутентификацию узлов/пользователей средствами ОС и/или с использованием RADIUS-сервера.

б) Модуль топологии и состояния сети – собирает информацию о топологии сети и состоянии сети с помощью протоколов ARP, LLDP и SNMP. С помощью SNMP-агентов возможен детальный сбор сведений со всех сетевых устройств, включая загруженность вычислительных ресурсов серверов, состояние очередей на портах коммутаторов.