

УДК 621.375

МОБИЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТР С НЕПРЕРЫВНЫМ ЛАЗЕРОМ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФЕКТОСКОПИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2012 Р.Н. Сергеев, Ю.В. Харчикова

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва
(Национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 25.01.2012

В работе рассматриваются вопросы разработки мобильного цифрового спекл-интерферометра (ЦСИ) с непрерывным лазером за счет применения оптической схемы с совмещенными каналами спекл-модулированных пучков, а также использования алгоритмов статистической и покадровой обработки регистрируемых спекл-структур. Приведены примеры применения интерферометра при различных вариантах компоновки его функциональных элементов.

Ключевые слова: цифровой спекл-интерферометр, непрерывный лазер, оптическая схема

1. ВВЕДЕНИЕ

В аэрокосмической отрасли основной упор при отработке изделий перенесен на наземную экспериментально-испытательную базу [1]. Проведение наземной отработки позволяет обеспечить высокую надежность изделий за счет возможности получения большого объема количественной информации о поведении узлов, агрегатов и элементов конструкции, возможности осмотра и анализа изделий после испытаний, применения ЭВМ для моделирования различных ситуаций. В данных условиях необходимо постоянное совершенствование приборов и систем экспериментально-испытательной базы, так как контрольно-испытательные работы составляют до 40% в трудоемкости изготовления космических аппаратов (КА) [2].

Большой информационной емкостью отличаются оптические измерительные системы, создаваемые с применением лазерной техники. Особое значение имеют лазерные интерферометрические системы, позволяющие производить регистрацию деформационно-вибрационных параметров на больших площадях исследуемых объектов. Наибольшую ценность имеют лазерные интерферометры, которые наряду с требуемыми метрологическими характеристиками обладают совместимостью со сложившейся технологией разработки, производства и испытания изделий.

Появление в последние годы цифровых голографических и спекл-интерферометрических

систем позволило сделать их значительно более технологичными – устранить необходимость затемнения помещения, химической обработки фотоматериалов, оцифровки и ввода информации в компьютер [3].

С экспериментальной точки зрения преимуществом методов спекл-интерферометрии перед голографической интерферометрией является существенное снижение пространственной частоты регистрируемых полей, что делает схему менее восприимчивой к случайным воздействиям, снижает требования к разрешающей способности телекамеры и позволяет использовать в качестве источника лазер с непрерывным излучением.

Расширению возможностей применения созданного в СГАУ стационарного ЦСИ с непрерывным лазером способствовал разработанный программный метод статистической обработки спекл-изображений колеблющихся объектов, приводящий не только к подавлению влияния случайных нагрузок, но и использованию их для повышения контрастности вибрационных спекл-интерферограмм [4]. Практически значимым оказался разработанный здесь же алгоритм усреднения спекл-изображений по регистрируемому 25 кадрам за одну секунду, обеспечивший возможность измерения методом двух экспозиций статических деформаций элементов конструкций на оптическом столе интерферометра [5]. Следующий алгоритм с покадровой обработкой последовательного ряда изменяющихся во времени интерферограмм прошел успешную апробацию при исследовании неустановившихся температурных деформаций и дефектоскопии модельных объектов [6].

К недостаткам стационарных ЦСИ можно отнести сложность типовой оптической схемы, заимствованной из голографической интерферо-

Сергеев Роман Николаевич, аспирант кафедры «Автоматические системы энергетических установок», инженер-конструктор 1 категории ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», E-mail: RomanSR@yandex.ru.

Харчикова Юлия Владимировна, магистр кафедры «Автоматические системы энергетических установок».

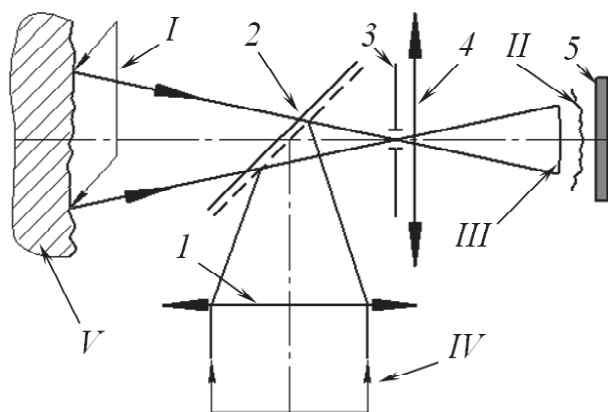


Рис. 1. Типовая схема стационарного спекл-интерферометра:

I – предметный пучок, II – волновой фронт предметного пучка, III – сферический волновой фронт опорного пучка, IV – опорный пучок, V – объект; 1 – фокусирующая линза; 2 – светоделитель; 3 – входная диафрагма; 4 – объектив; 5 – ПЗС матрица телекамеры

метрии (рис.1) [7]. Это приводит к необходимости сборки схемы на громоздком интерферометрическом столе, повышает требования к тщательности её юстировки.

Указанные особенности затрудняют применение ЦСИ в условиях испытательных стендов на предприятии. Здесь необходимо создание класса мобильных ЦСИ, отличающихся простотой оптической схемы и обладающих совместимостью с конструкциями тепловакуумных камер и технологией проведения испытаний. Одну из основ мобильных ЦСИ могут составить созданные ранее программные методы статистической обработки спекл-изображения.

2. ОТРАБОТКА СХЕМЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРА С СОВМЕЩЕННЫМИ КАНАЛАМИ СПЕКЛ-МОДУЛИРОВАННЫХ ПУЧКОВ

Проведенный анализ оптических схем внестендовых голографических и спекл-интерферометров позволил выделить для построения

мобильного ЦСИ оптическую схему с совмещенными каналами спекл-модулированных предметного и опорного пучков [8], отличающуюся как малым числом элементов, так и простотой юстировки. Важной особенностью схемы с совмещенными пучками является, как показано в [9], наличие запаса устойчивости её к случайным колебаниям источника излучения. Применение в данной схеме разработанного в [4] программного метода статистической обработки спекл-интерферограмм колеблющихся объектов позволило создать мобильный виброметрический ЦСИ с повышенным уровнем помехоустойчивости [10].

Возможность применения выбранной схемы для определения деформационных перемещений обрабатывалась на промежуточной модели ЦСИ (рис. 2). В данной модели ЦСИ непрерывный лазер 1, телекамера 7 (с ПЗС матрицей 752x582 пикс) и формирователь 2-4 пучка располагаются на оптическом столе 9 без виброзащиты. Исследуемый объект 6, диффузор 5 и нагрузочное устройство 10 устанавливаются отдельно на платформе 11 геодезического штатива.

Диффузор 5 выполнен в виде пропускающей светорассеивающей пластины, расположенной перед исследуемым объектом 6. Для выполнения данного условия исследуемый объект 6 (прямоугольная металлическая пластина) и диффузор 5 закреплены на разных сторонах специально выполненной металлической рамки, которая в свою очередь была зажата в тисках, находящихся на платформе 11.

Регистрация деформационных перемещений объекта производится в два этапа по методике, описанной в [5]. В качестве нагрузочного устройства 10 использовался механический толкатель с микрометрическим винтом. На экран монитора ПЭВМ 8 выводится разностное изображение, представляющее собой искомого спекл-интерферограмму (рис. 3 а). Для сравнения на рис. 3 б дана спекл-интерферограмма этой

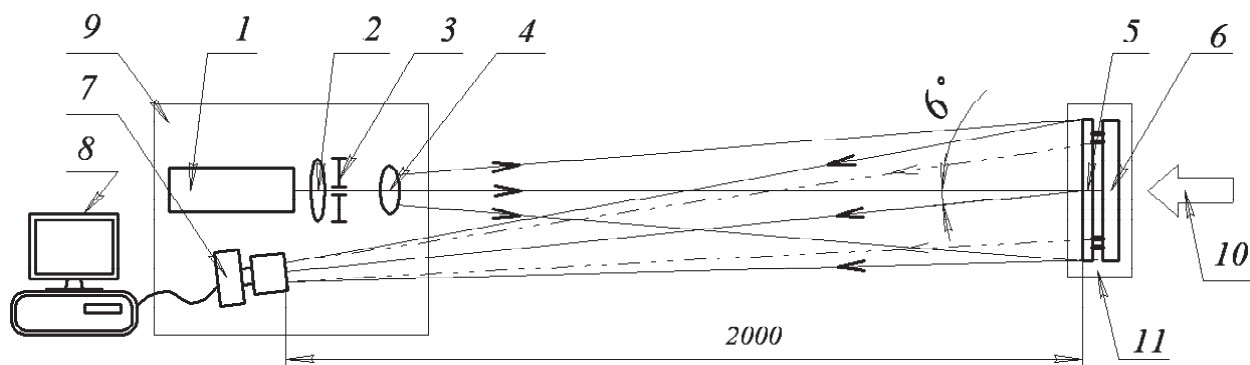


Рис. 2. Схема промежуточной модели мобильного цифрового спекл-интерферометра:

1 – газовый лазер ГН 15-1; 2 – микрообъектив; 3 – точечная диафрагма; 4 – линза; 5 – диффузор; 6 – исследуемый объект; 7 – регистратор (телекамера Watec-902H с фотообъективом Юпитер -8); 8 – ПЭВМ; 9 – оптический стол; 10 – нагрузочное устройство; 11 – платформа геодезического штатива

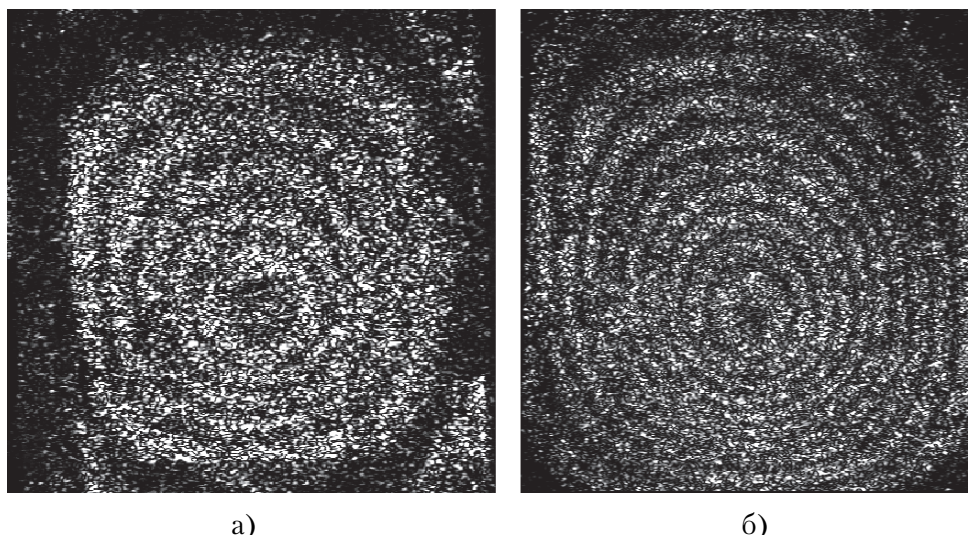


Рис. 3. Сравнительные спекл-интерферограммы деформационного поля перемещений статически нагруженной пластины с жесткой заделкой по контуру, полученные в модели мобильного (а) и в стационарном (б) цифровых интерферометрах

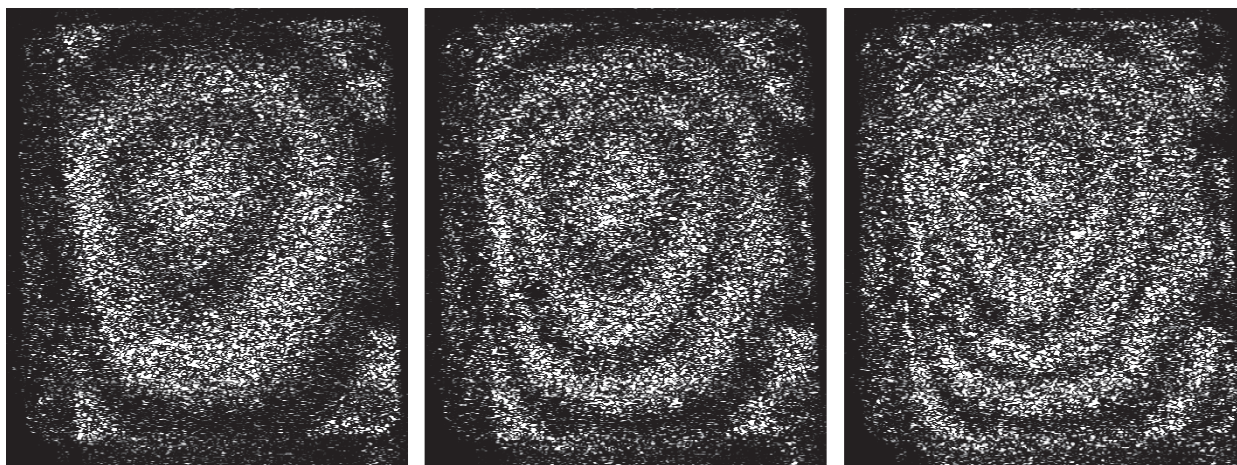


Рис. 4. Фрагмент спекл-интерферограмм процесса температурного деформирования пластины при остывании (интервал между кадрами 0,2 с)

же пластины, полученная в схеме стационарного ЦСИ при сходных условиях нагружения.

На рис. 4 представлен ряд спекл-интерферограмм деформационных перемещений пластины, соответствующий процессу ее остывания после нагрева тепловым потоком. Регистрация неустановившихся температурных деформаций пластины производилась по методике, описанной в [6].

Несмотря на некоторое снижение контрастности получаемых спекл-интерферограмм по сравнению с [5, 6], рассматриваемая модель ЦСИ с непрерывным лазером обладает достаточным уровнем метрологических возможностей для измерения деформаций натуральных конструкций.

Представленные результаты исследований говорят о принципиальной возможности применения выбранной схемы для создания мобильного ЦСИ. Однако необходимо выполнение следующего этапа исследований с размещением лазера и телекамеры интерферометра на мобильных основаниях.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ЦСИ

В представленной на рис. 5 схеме мобильного ЦСИ малогабаритный лазер с диодной накачкой 1 и формирователь пучка 2 размещаются непосредственно на обычном аудиторном столе 3, а регистратор 4 находится на дополнительной переносной опоре в виде геодезического штатива.

В качестве диффузора 5 применялась пластина из органического стекла толщиной 8 мм с нанесенным на сторону, обращенную к телекамере, дисперсным покрытием из частиц краски.

В качестве нагрузочных приспособлений использовались механический толкатель с микрометрическим винтом, устройство для вакуумирования, а также тепловой источник. Если два первых нагрузочных приспособления применялись для создания только конечного напряженного состояния, то тепловой источник обеспечивал

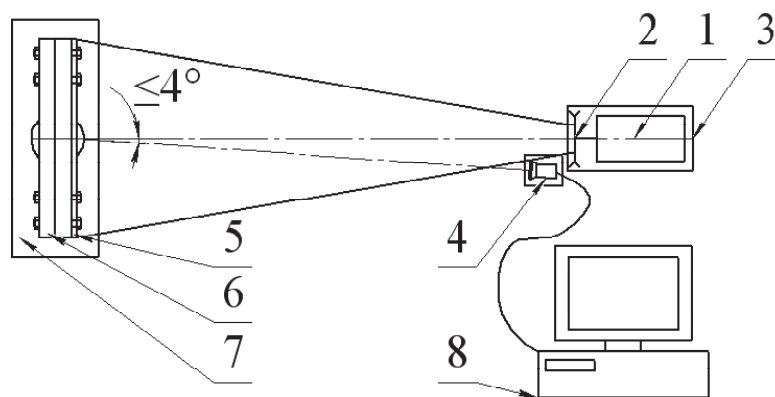


Рис. 5. Схема мобильного цифрового спекл-интерферометра:

1 – твердотельный лазер LCS-DTL-317-50; 2 – линза; 3 – аудиторный стол; 4 – регистратор (цифровая телекамера Watec-902H с фотообъективом Юпитер-8); 5 – диффузор; 6 – рамка с исследуемым объектом; 7 – узел крепления рамки на массивном основании; 8 – ПЭВМ

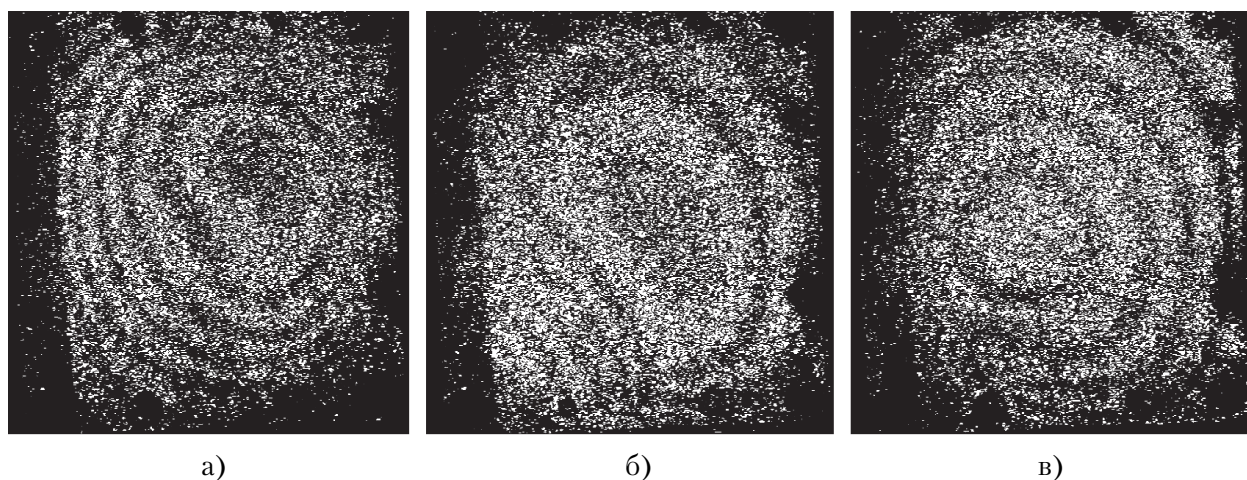


Рис. 6. Сравнительные спекл-интерферограммы пластин с дефектами в виде одиночного глухого отверстия (а), 3-х лунок (б) и бездефектной пластины (в)

возможность получения режима с неустановившимся температурным деформированием объекта.

Исследуемые объекты отличались видом искусственно созданных дефектов (одиночное глухое отверстие диаметром 5 мм, область с тремя одинаковыми неглубокими лунками диаметром 5 мм), находящихся на обратной от лазера стороне пластины в области её оси симметрии.

Результаты проведенных исследований при температурном нагружении анализируемых пластин даны на рис. 6.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана актуальность разработки и создания класса мобильных ЦСИ для проведения тепловвакуумных испытаний изделий аэрокосмической отрасли. На основании проведенного анализа выделена оптическая схема ЦСИ с совмещенными каналами спекл-модулированных пучков. Экспериментально доказана работоспособность данной схемы при определении деформационных полей перемещений и дефек-

тоскопии конструкции. Метрологические возможности мобильного интерферометра подтверждены путем сравнения полученных результатов с данными стационарного ЦСИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конструирование автоматических космических аппаратов [под ред. Д. И. Козлова]. М.: Машиностроение, 1996. 448 с.
2. Фирстов В.Г., Застрогин Ю.Ф., Кулебякин А.З. Автоматизированные приборы диагностики и испытаний. М.: Машиностроение, 1995, 288 с.
3. Цифровая голографическая интерферометрия как метод анализа деформаций. Современное состояние и перспективы развития / В.С. Гуревич, М.Е. Гусев, В.Е. Гапонов и др. // Сборник трудов 7-й Международной научно-практической конференции «Голография – наука и практика», Москва, 28-30 сентября 2010. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2010, С. 350-357.
4. Комаров С.Ю. Помехоустойчивый цифровой спекл-интерферометр для виброметрии объектов на основе метода усреднения во времени: Дисс. ... канд. техн. наук. Самара: СГАУ, 2004. 234 с.
5. Сергеев Р.Н. Исследование деформаций пластин с помощью цифрового спекл-интерферометра // Сб.

- докл. «VI Самарская конкурс-конференция», Самара: Изд-во «Универс групп», 2008. С. 31-37.
6. *Сергеев Р. Н.* Применение цифрового спекл-интерферометра с непрерывным лазером для исследований неустойчивых температурных деформаций // *Известия Самарского научного центра РАН.* 2011. №4, С. 628-631.
 7. *Джоунс Р., Уайкс К.* Голографическая и спекл-интерферометрия. М.: Мир, 1986, 328с.
 8. Патент РФ № 71429 G 01 Н 9/00. Устройство для исследования форм колебаний / *А.И. Жужукин*, 2007. Опубликовано 10.03.2008. Бюл. №7.
 9. *Волков И.В.* Спекл-голография в экспериментальной механике: Монография. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2010. 199 с.
 10. Разработка мобильного цифрового спекл – интерферометра с лазером непрерывного излучения для определения вибрационных характеристик природных объектов / *О.А. Журавлёв, А.И. Жужукин, С.Ю. Комаров, Р.Н. Сергеев*// Тез. докл. IX междунауч.-техн. конференции «Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства», Ростов-на-Дону, 2010.

MOBILE DIGITAL SPECKLE INTERFEROMETRY WITH CW LASERS DEFORMATION FIELD FOR REGISTRATION OF MOVEMENTS AND FLAW STRUCTURAL MATERIALS

© 2012 R.N. Sergeev, J.V. Harchikova

Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov
(National Research University)

This paper discusses the development of mobile digital speckle interferometer with a CW laser through the use of the optical system with co-channel speckle-modulated beams, as well as the use of algorithms and statistical processing of time-lapse recorded speckle patterns. Examples of the use of an interferometer with various layout options for its functional elements.

Keywords: digital speckle interferometer, a continuous laser, optical system