

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

*ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
СИГНАЛОВ, ДАННЫХ И ЗНАНИЙ:
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА*

Сборник статей

II всероссийской научно-практической конференции

с международным участием

им.В.В. Губарева

Новосибирск, 11 - 13 декабря, 2018

Новосибирск 2018

УДК 535.411.854

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СТРУКТУРИРОВАННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕЙ СМЕЩЕНИЙ

Гужов В.И., Ильиных С.П., Серебрякова Е.Е.

Новосибирский государственный технический университет

В статье исследована возможность применения метода структурированного освещения для анализа напряженно-деформированного состояния объекта. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант № 16-08-00565) и Министерством Образования и Науки РФ (гос. задание № 8.12007.2018/11.12).

Ключевые слова: интерферограмма, фазовый сдвиг, структурированное освещение, напряженно-деформированное состояние.

Для нахождения поля смещений точек поверхности находится разность профиля двух состояний объекта: до деформации и после [1-4].

Для определения профиля объекта использовался метод структурированного освещения, в котором на объект проецируется серия изображений, представляющие собой полосы, имеющие синусоидальный профиль [5-9]. Регистрируемые картины синусоидальных полос (интерферограммы) однозначно определяют профиль объекта. Автоматизированная расшифровка интерферограмм производилась методами пошагового фазового сдвига [11] с использованием целочисленных методов устранения фазовой неопределенности [12-17].

В качестве объекта измерения, использовалась металлическая пластина из алюминиевого сплава, закрепленная с двух сторон, нагруженная калиброванным подвешенным грузом в центре пластины (Рисунок 1).

Форма поперечного сечения

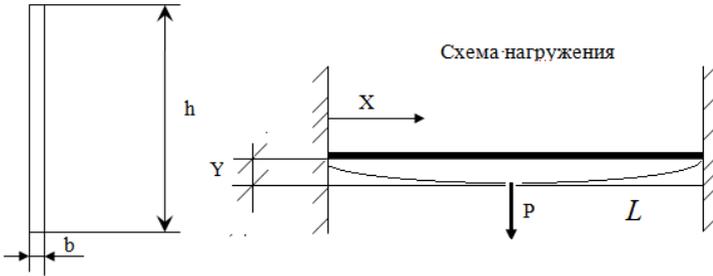


Рисунок 1 - Схема нагружения и форма сечения исследуемого образца

Для уменьшения размера периода проецируемой синусоидальной картины необходимы проекторы с большим пространственным разрешением. В данной работе используется 4К проектор VPL-VW260ES, который обеспечивает разрешение 4096 на 2160 точек.

Для регистрации используется фотокамера CANON EOS M50, сопряженная с компьютером. В Canon EOS M50 установлен датчик изображения типа CMOS с разрешением 24,1 Мп и физическим размером 22,3x14,9 мм (формат APS-C). Максимальное разрешение при вводе одного кадра 6000x4000. Благодаря новому процессору DIGIC 8 обеспечивается поддержка видеосъемки в формате 4К. Максимальное разрешение при видеосъемке 3840x2160 точек при 25 кадрах в секунду. Впервые для камер EOS применён новый 14-битный формат RAW — CR3 (Рисунок 2).



Рисунок 2 - Фотография лабораторной установки для регистрации профиля объектов

На металлическую пластину прикреплялась линейка для фиксации размеров объекта (Рисунок 3).



Рисунок 3 - Измеряемый объект (сверху пластина, подвергающаяся изгибу, снизу контрольная пластина)

На Рисунке 4 показаны изображения объекта с проецируемыми полосами.

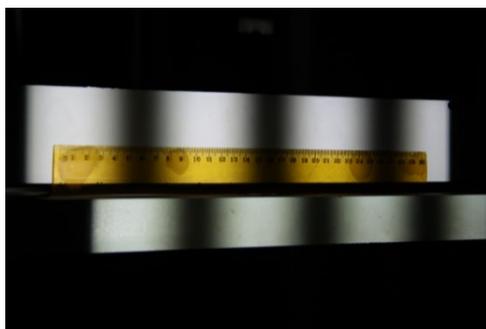


Рисунок 4 - Объект с проецируемыми полосами

Для построения профиля производится удаление фона, устранение шумов и компенсация геометрических искажений. (рис. 5). При четырех фазовых сдвигах $d_1=0$, $d_2=\pi/2$, $d_3=\pi$, $d_4=3\pi/2$ получается простое выражение $\Delta\varphi = \arctan \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3}$ [10].

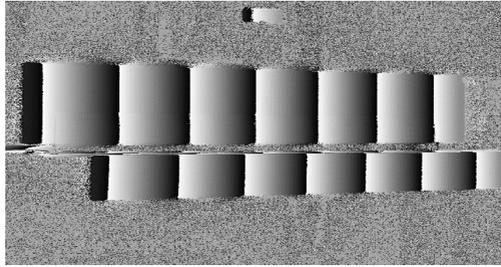


Рисунок 5 - Фазовые значения поля фаз

На Рисунке 6 показано измеренное фазовое распределение до (левый столбец) и после (правый столбец) внесения деформаций после устранения фазовой неоднозначности.

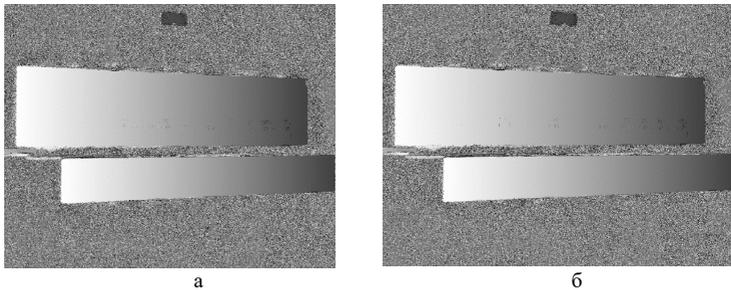


Рисунок 6 - Поле фаз до (а) и после (б) внесения деформаций после устранения фазовой неоднозначности

В результате небольших деформаций поле фаз изменяется на небольшую величину. Поэтому на рис. 6 они выглядят практически идентично.

На Рисунке 7 показан измеренный 3D профиль объекта до деформации.

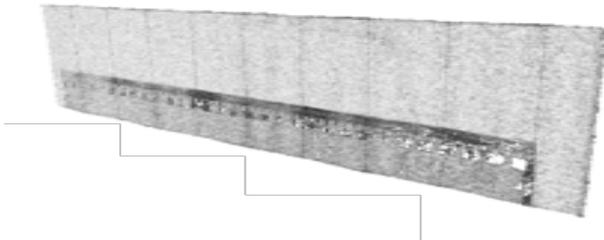


Рисунок 7 - Измеренный 3D профиль объекта

Для получения поля смещений достаточно произвести определение попиксельной разницы восстановленного профиля до деформации и после объекта. Объект располагается под углом к камере. Откорректируем геометрические искажения, так чтобы каждая точка соответствовала 0,25 мм/пиксель по X координате. Поле смещений точек объекта в результате нагружения объекта получаем как разность профиля до и после нагрузки. На Рисунке 8 показаны результаты измерения полей смещения и деформации после устранения тренда.

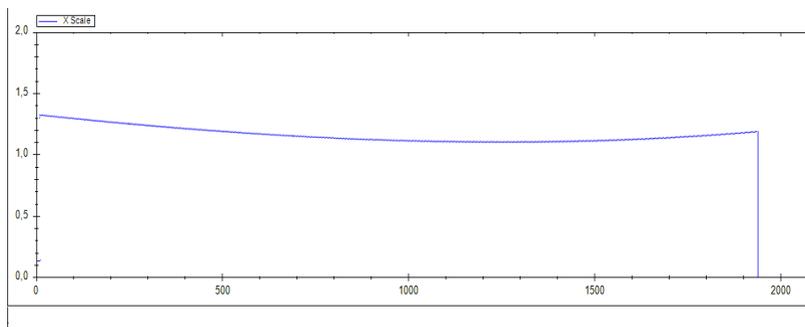


Рисунок 8 - Поле смещений

Поскольку результаты измерений имеют достаточно большую погрешность, которая требует использования аппроксимации данных для получения производных, сравним их для оценки достоверности с результатами теоретических исследований.

Измеренные значения смещений и деформаций сравнивались с расчетными (теоретическими) значениями.

Расчетный (теоретический) прогиб балки:

$$Y = 1,380 \text{ мм};$$

Фактическое отклонения балки:

$$Y = 1,382 \text{ мм}.$$

ВЫВОДЫ

Исследовано напряженно-деформированное состояние объекта с помощью метода структурированного освещения, на примере, прогиба двусторонне защемленной балки.

Показано, что результаты экспериментальных исследований соответствуют теоретическим расчетам. Это подтверждает возможность использования метода для изучения напряженно-деформированного состояния объекта.

Литература:

1. Борыняк Л.А., Герасимов С.И., Жилкин В.А. Практические способы записи и расшифровки интерферограмм, обеспечивающих необходимую точность определения компонент тензора деформаций// Автометрия. 1982. №1.
2. Козачок А.Г. Голографические методы исследования в экспериментальной механике. М.: Машиностроение, 1984. 176 с.
3. Герасимов С.И., Гужов В.И., Жилкин В.А., Козачок А.Г. Автоматизация обработки интерференционных картин при исследовании полей деформаций. - Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1985. Т. 51. № 4. С. 77-80.
4. Гужов В.И., Козачок А.Г., Жилкин В.А., Герасимов С.И. Автоматизация обработки оптической информации, получаемой с использованием голографических накладных интерферометров // в книге: пятая всесоюзная конференция по голографии тезисы докладов. – 1985. – С. 321-322.
5. Гужов В.И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015.-82с.
6. Гужов В.И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Фазовые методы. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.-83с.
7. C. Guan, L. Hassebrook, and D. Lau, "Composite structured light pattern for three-dimensional video," Opt. Express 11, 406-417 (2003).
8. Wyant J.C. Interferometric optical metrology: basic system and principles // Laser Focus. - 1982.- pp.65-67.
9. Гужов В.И., Ильиных С.П., Уберт А.И. / Проекционный метод измерения рельефа. // Научный вестник НГТУ. - 2012. - №1(46) – С. 23-28.
10. Pyinykh S.P., Guzhov V.I. A generalized decoding algorithm for interferograms using phase stepping // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2002. No 3. pp. 103-106.
11. V.I. Gushov, Yu.N. Solodkin Automatic Processing of Fringe Patterns in Integer Interferometers// Optics and Lasers in Engineering. -1991.- Vol.14, Issues 4-5. P.311-324.
12. Гужов В.И., Солодкин Ю.Н. Анализ точности определения полной разности фаз в целочисленных интерферометрах// Автометрия. - 1992.- №6.- С.24-30. Также в: Guzhov V.I., Solodkin Yu.N. The accuracy of determining the total phase difference in integer interferometers// Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 1992.- No.6.- P.23-28.
13. Гужов В.И., Солодкин Ю.Н. Использование свойств целых чисел для расшифровки интерферограмм// Оптика и спектроскопия. 1988.

т.65. вып.5. С.1123-1128. (Guzhov V.I., Solodkin Yu.N. Using integer properties for interferogram analysis. *Optica&Spectroscopia* 65 (5) (1988) 1123-1228)

14. Гужов В.И., Ильиных С.П., Кузнецов Р.А., Вагизов А.Р. / Решение проблемы фазовой неоднозначности методом целочисленной интерферометрии // *Автометрия*. - 2013. - Т. 49, №2. -С. 85-91. (V.I. Guzhov, S.P. Il'inykh, R.A. Kuznetsov, A.R. Vagizov /Solution of the problem of phase ambiguity by integer interferometry // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. March 2013, Volume 49, Issue 2, pp 178-183).

15. В.И. Гужов, А.А. Плешкевич. Устранение фазовой неоднозначности с использованием модулярной арифметики в системах измерения профиля объектов. НГТУ, Новосибирск, Россия. *Автоматика и программная инженерия*. 2017. № 1 (19). С. 58–64.

16. Использование свойств целых чисел для расшифровки интерферограмм Гужов В.И., Солодкин Ю.Н. *Оптика и спектроскопия*. 1988. Т. 65. № 5. С. 1123.

17. Ильиных С. П., Гужов В. И., Кафидова Н.Е., Бочаров Д.Д. Робастный алгоритм расшифровки интерферограмм // *Автометрия*. -2005.- № 3.-Т 41.-С 122-125.

THE STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE OBJECT BY THE METHOD OF STRUCTURED LIGHTING

V.I. Guzhov, S.P. Ilinykh, E.E. Serebryakova

Novosibirsk State Technical University

The article investigates the possibility of applying the method of structured lighting for the analysis of the stress-strain state of an object. This work was supported by the Russian Foundation of basic research "Development of super-resolution methods in digital holographic interferometry" (Grant No. 16-08-00565) and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (state task No. 8.12007.2018 / 11.12).

Keywords: interferogram, phase shift, structured illumination, stress-strain state.