

## ЦИФРОВАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ В ИЗМЕРЕНИЯХ РАЗНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ ВРЕМЕНИ

**Акбарова Нигора Алимджановна**

И.Каримов номидаги ТДТУ т.ф.н., доцент (Тошкент шаҳар)

**Абдулхаева Дилноза Иброхим кизи**

И.Каримов номидаги ТДТУ магистр (Тошкент шаҳар)

[rashidov-sardor@rambler.ru](mailto:rashidov-sardor@rambler.ru)

### АННОТАЦИЯ

В работе описан метод с использованием преобразования Фурье над последовательностью голограмм, записанных в различные моменты времени. Показана возможность измерения деформаций композитного материала при нагреве маломощным лазерным излучением.

Применение голографических методов для решения этой проблемы позволит в перспективе существенно увеличить срок хранения информации при такой же или более высокой плотности хранения данных. В прошлых работах в качестве альтернативы классическому - двухлучевому методу записи голограмм, предложено использование методов компьютерного синтеза голографических структур.

**Ключевые слова:** лазер, цифровая голографическая интерферометрия, голограмма, интерферограмма, преобразование Фурье, алгоритм, программное обеспечение, Гауссовское распределение, деформация, интерференционная полоса, стеклопластика, металлическая пластина, светофильтр.

### ABSTRACT

In work, the method with use of transformation of Fourier over sequence of the holograms, which are written down in various time points, is described. Possibility of measurement of deformations of composite material when heating is shown by low-power laser radiation. The use of holographic methods to solve this problem will in the future significantly increase the shelf life of information with the same or higher data storage density. In previous works, as an alternative to the classical two-beam method of recording holograms, the use of computer synthesis methods of holographic structures has been proposed.

**Keywords:** Laser, digital holographic interferometry, hologram interferogram, transformation of Fourier, algorithm, software, Gaussian distribution, deformation, interference fringe, fiberglass, metal plate, filter.

## ANNOTATSIYA

Ушбу мақолада турли вақтда ёзилган кетма-кет голограммаларнинг Фурье қатори бўйича ёйилмасининг методи ёритилган. Камқувватли лазер нурида қиздирилган композит материалнинг деформациясининг ўзгариш ҳолати кўрсатилган. Ушбу муаммони ҳал қилиш учун голографик усуллардан фойдаланиш келажакда маълумотларни сақлаш зичлиги бир хил ёки ундан юқори бўлган маълумотларнинг сақлаш муддатини сезиларли даражада оширади. Олдинги асарларда голограммаларни ёзишнинг классик икки нурли усулига алтернатива сифатида голографик тузилмаларнинг компьютер синтези усулларида фойдаланиш таклиф қилинган.

**Калит сўзлари.** Лазер, рақамли голографик интерферометрия, голограмма, интерферограмма, Фурье ёйилмаси, алгоритм, дастур таъминоти, Гаусс таксимоти, деформация, интерференция чизиғи, стеклопластика, метал пластина, ёруғлик фильтри.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существенно вырос объем цифровой информации и возникает потребность в разработке методов долгосрочного и компактного хранения данных. Применение голографических методов для решения этой проблемы позволит в перспективе существенно увеличить срок хранения информации при такой же или более высокой плотности хранения данных. В прошлых работах в качестве альтернативы классическому - двухлучевому методу записи голограмм, предложено использование методов компьютерного синтеза голографических структур.

## ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ

Запись цифровых голограмм впервые была предложена в [1], а числовая реконструкция была выполнена [2]. Полностью цифровая запись на ССД камеру голограмм Френеля и их численное восстановление было выполнено в [3]. Этот метод полностью заменил длительный процесс записи и восстановления голограмм с помощью фотопластинок и позволил с высокой точностью и скоростью проводить запись и восстановление голограмм. Важными этапами в развитие цифровой голографии стали этапы улучшения технологии записи и алгоритмов восстановления цифровых голограмм. Возникли различные

технологии и алгоритмы реконструкции фазы. В осевой схеме записи цифровых голограмм требовалась процедура фазосдвигающих шагов для записи и восстановления отдельных голограмм [4] или общей голограммы [5]. Во вне осевой схеме записи [6] была продемонстрирована возможность измерений деформаций исследуемого объекта, сравнивая разницу фаз между его двумя состояниями. В тоже время эта технология двойной экспозиции не дает информацию об абсолютной фазе объектной волны. Техника измерения абсолютной фазы была предложена в [7,8]. В этих работах было показано, что реконструкция фазы может быть выполнена из одной голограммы также как в классической голографии - подбором различных параметров. В [9] было показано, что эта технология имеет приложение в развивающейся цифровой голографической интерферометрии (ЦГИ) [10-12], которая позволяет проводить неконтактное исследование объектов. Технология ЦГИ основана на цифровой регистрации голограмм сформированных интерференцией опорного пучка и объектного пучка прошедшего через исследуемый образец. По сравнению с классической интерферометрией фазового сдвига, ЦГИ в терминах разрешения, точности, повторяемости, имеет два преимущества: скорость получения информации в виде комплексного волнового фронта – несколько мкс, что сокращает влияние вибраций; оригинальная цифровая процедура ЦГИ корректирует оптические aberrации.

Новые достижения получены в цифровой голографической томографии [13], оптической дифракционной томографии [14], цветной цифровой голографии [15], цифровой голографии с синтетической длиной волны [16] и различными технологиями компенсации aberrаций [17]. Развились новые приложения ЦГ для анализа деформаций и анализа формы объекта [18], анализа траектории частиц [19], криптография [20], рефрактометрия [21], измерение вибраций [22], микрооптическое тестирование [23].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

Для компьютерного синтеза использовались голограммы Фурье. Их основное преимущество перед голограммами Френеля сводилось к подавлению нулевого порядка, т.к. пространственные шумы, вызванные нулевым порядком, могут оказать критическое влияние на точность восстановления информационных битов.



Рис1. Алгоритм принцип работы.

Были разработаны алгоритмы синтеза интерферограмм. На рис 1 приведена схема алгоритма синтеза интерферограмм на основе метода двойного Фурье преобразования. Две голограммы ( $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ ) загружались в виде файлов изображений и представлялись в качестве массивов чисел. Загружаемые изображения голограмм могли иметь стандартный формат файлов изображений. Размеры двумерных массивов зависели от разрешения и размеров изображения. При этом разработанное программное обеспечение позволяло фильтровать и форматировать изображения голограмм с помощью стандартных программ обработки изображений. На схеме данный участок обозначен как  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Затем осуществлялась прямое двумерное преобразование Фурье. Полученный массив пространственного спектра мог индцироваться на экране компьютера в виде изображения. Была предусмотрена возможность выделения определенной области пространственного спектра для осуществления фильтрация пространственных частот. После проведения пространственной фильтрации производилось обратное двумерное преобразование Фурье. Затем проводилась выделение мнимой и действительной части полученного массива и определение восстановления фазы. Полученный массив производился на экране компьютера. При этом была предусмотрена возможность фильтрации и форматирования полученного изображения. Таким образом, синтезированные интерферограммы представлялись в виде двумерных массивов чисел, вывод также предусмотрена возможность сохранения маски фильтрации пространственных частот и синтезируемой интерферограммы

В качестве нагревающего лазера использовался DPSS лазер излучающий на 2х длинах волн,  $\lambda_1=1,06\text{мкм}$  -10мВт и  $\lambda_2=0,53\text{мкм}$  -6мВт. Установка светофильтра позволяла выделять нужную длину волны. В области нагрева пятно греющего лазерного излучения имело Гауссово распределение интенсивности с радиусом на полувысоте 1мм.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Для измерения тепловых деформаций методом 2х экспозиционной цифровой голографической интерферометрии снималась голограмма не возмущенного объекта. Затем после включения греющего лазера снимались голограммы в разные промежутки времени после включения лазера. Полученные цифровые голограммы путем двойного Фурье преобразования сравнивались с голограммой не возмущенного объекта и были получены интерферограммы из которых можно построить поле нормальных перемещений поверхности объекта с помощью программы развертывания фазы.

На рисунке 2 показаны интерферограммы отражающие динамику нагрева поверхности объекта после включения греющего лазера. Под каждой интерферограммой указано время нагрева. Предварительные измерения показали, что, нагрев осуществляется в основном излучением с  $\lambda_2=0,53\text{мкм}$ , а  $\lambda_1=1,06\text{мкм}$  не поглощается композитом.

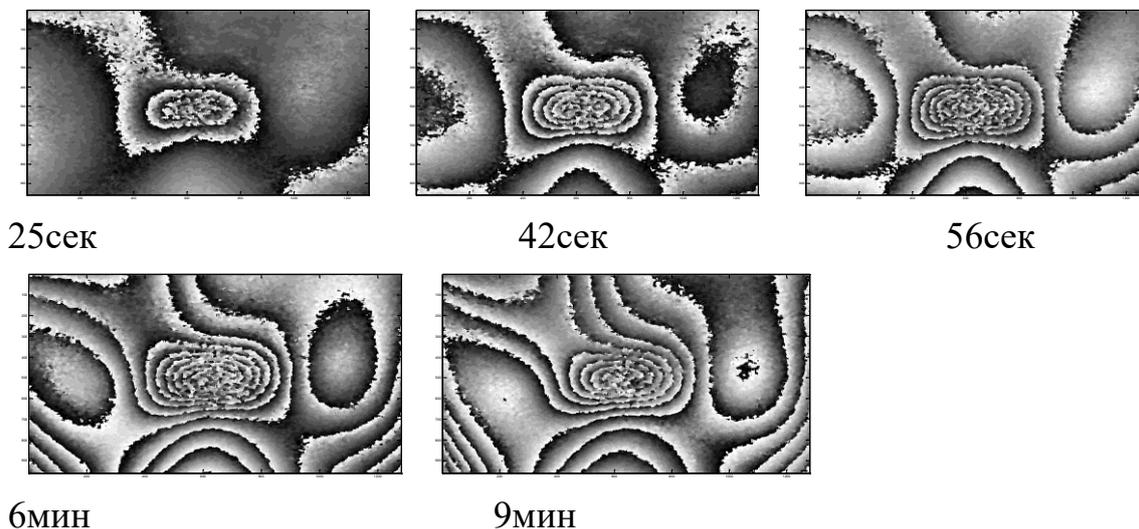


Рисунок 2

Интерферограммы деформаций за счет нагрева картины остаточных напряжений, в низу время нагрева

Далее пластина была проколота для образования дефекта (прорезь длиной 3мм) и нагрев осуществлялся на боковом краю прорези. Пластина была придвинута к интерферометру и видимая площадь составляла 5х3,5см. Снимались голограммы при освещении под разными углами. На рисунке 3А

представлена интерферограмма деформаций в области дефекта при освещении объекта под углом  $45^\circ$ . Как видно из рис. 3А наличие дефекта искажает картину интерференционных полос.

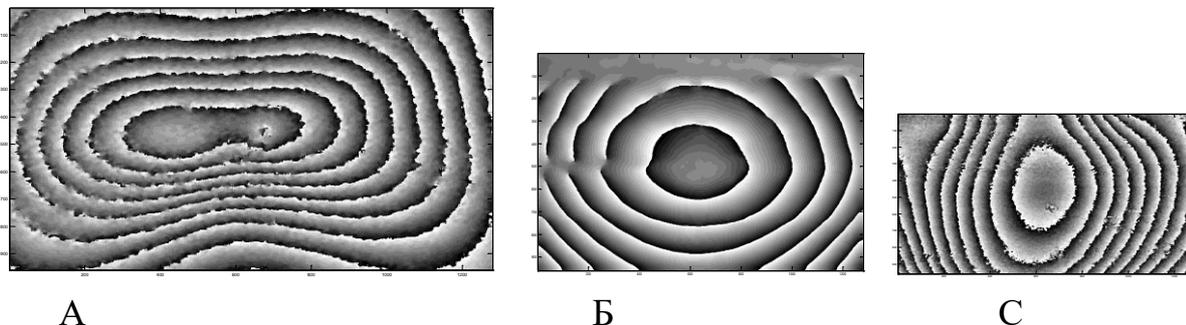


Рисунок 3

Интерферограммы тепловых деформаций.

А – пластины стеклопластика с дефектом. Б – засвеченной стеклопластика нагреваемой со стороны фотоимпульсии. С – металлической пластины.

Для сравнения картин деформации за счет нагрева в тех же экспериментальных условиях были получены интерферограммы деформаций засвеченной фотопластинки рис. 3Б и интерферограммы деформаций области нагрева металлической пластины рис.3С, а также интерферограммы деформаций при нагреве пластины из белой пластмассы рис.4 полученные в разное время после начала нагрева. Толщина пластины 3мм.

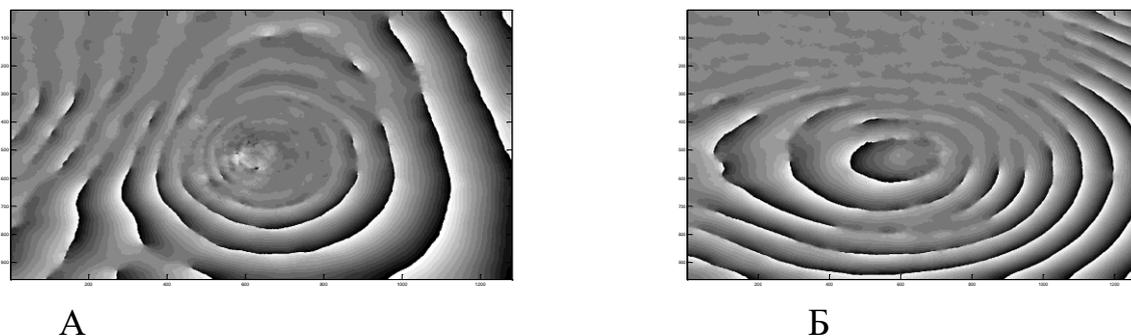


Рисунок 4

А – интерферограмма деформаций пластины из белой пластмассы, время нагрева 1 мин.

Б – интерферограмма деформаций после 4 мин нагрева.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Показана алгоритмы синтеза интерферограмм и возможность измерения деформаций композитного материала при нагреве маломощным лазерным излучением. Область нагрева деформируется и при этом на периферийных областях проявляется структура, связанная внутренними напряжениями в исследуемом материале.

**ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)**

1. J. W. Goodman, R. W. Lawrence. Appl. Phys. Lett. 11, 77–79 (1967)
2. M. A. Kronrod et al. Sov. Phys.-Tech. Phys. 17, 333–334 (1972).
3. U. Schnars, W. Jüptner. Appl. Opt. 33, 179–181 (1994).
4. G. A. Mills, I. Yamaguchi. Appl. Opt. 44, 1216–1225 (2005).
5. J. C. Wyant. Optics and Photonics News 14, 36–41 (2003).
6. U. Schnars. J. Opt. Soc. Am. A 11, 2011–2015 (1994).
7. E. Cucho et al. Opt. Lett. 24, 291–293 (1999).
8. M. Liebling et al. J. Opt. Soc. Am. A. 21, 367–377 (2004).
9. E. Cucho et al. Appl. Opt. 38, 6994–7001 (1999).
10. F. Dubois et al. Appl. Opt. 41, 4108–4119 (2002).
11. D. Carl et al. Appl. Opt. 43, 6536–6544 (2004).
12. G. Coppola et al. Measur. Sci. Technol. 15, 529–539 (2004).
13. L. Yu, M. K. Kim. Opt. Express 13, 5621 – 5627 (2005).
14. F. Charrière et al. Opt. Lett. 31, 178–180 (2006).
15. B. Javidi et al. Opt. Lett. 30, 144–146 (2005).
16. A. Stadelmaier, J. H. Massig. Opt. Lett. 25, 1630–1632 (2000).
17. T. Colomb et al. Appl. Opt. 45(5): 851–863 (2006).
18. L. H. Ma et al. J. Opt. A 6, 396–400 (2004).
19. J. Müller et al. Measur. Sci. Technol. 15, 706–710 (2004).
20. G. Situ, J. Zhang. Opt. Lett. 30, 1306-1308 (2005).
21. M. Sebesta, M. Gustafsson. Opt. Lett. 30, 471–473 (2005).
22. D. N. Borza. Measur. Sci. Technol. 16, 1853–1864 (2005).
23. F. Charrière et al. Appl. Opt. 45, 829–835 (2006).