

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра оптики и биофотоники

Цифровая голографическая интерферометрия тепловых деформаций и  
фазовая микроскопия технических и биологических объектов

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 434 группы

направления 030302 физика  
физического факультета  
Гризбил Богдан Анатольевич

Научный руководитель  
д.ф.-м.н., профессор Рябухо В.П.

Заведующий кафедрой  
д.ф.-м.н., профессор Тучин В.В.

Саратов 2016 год

**Введение.** Цифровая голография успешно применяется в методах цифровой голографической интерферометрии для изучения объектов с оптически грубой поверхностью, характерной для большинства технических и биологических объектов [1-4]. Возможность интерференционного сравнения оптических объектов, существовавших в различные моменты времени, позволяет проводить высокоточные исследования и неразрушающий контроль смещений, деформаций, вибраций отражающих объектов, визуализацию потоков и определение оптической плотности прозрачных сред [2,3].

Конструирование и отработка технологий создания электронных приборов требует исследований напряженно - деформируемого состояния блоков электронных приборов, в том числе электронных плат.

С помощью метода голографической интерферометрии возможно определение полей деформационных микроперемещений поверхности объекта с точностью до сотых долей микрометра в диапазоне от десятых долей микрометра до нескольких десятков микрометров [5]. Для этого записывается серия цифровых голограмм волновых полей поверхности объекта в различных деформационных состояниях. Запись производится с использованием быстродействующего и высокоразрешающего цифрового матричного фотодетектора с интервалом до 100 и более кадров в секунду, а затем цифровыми методами осуществляется восстановление поля микроперемещений точек поверхности объекта и процесс его деформации. Зарегистрированная цифровая голограмма несет информацию об амплитуде и фазе предметной волны, отраженной от объекта или прошедшей через него. Это обстоятельство позволило использовать методы цифровой голографии для неинвазивных исследований различных биологических объектов, которые изменяют только фазу предметной волны.

Методы наблюдения и анализа состояния трехмерной микроструктуры биологических объектов на клеточном микроуровне исключительно важны для различных областей исследований в биологии и медицине, где допускается

только неинвазивная диагностика. Методы цифровой голографической микроскопии (ЦГМ) позволяют значительно сократить затраты на дорогостоящие оптико-механические узлы, поскольку при использовании ЦГМ не требуется точная фокусировка на объекте исследования: запись голограммы производится при фиксированном положении объектива, а фокусировка на различных расстояниях осуществляется при использовании специальных вычислительных алгоритмов.

Поскольку, современное развитие вычислительной техники позволило при высоких вычислительных мощностях значительно сократить стоимость компьютеров, по сравнению со стоимостью оптико-механических узлов, а также ввиду отсутствия в ЦГМ необходимости записи большого числа изображений различных слоев объекта, указанные преимущества особенно важны при использовании ЦГМ для исследования объектов биологической природы, в частности для исследований морфологии эритроцитов человека. Изменение морфологии эритроцитов свидетельствует о наличии определенных заболеваний и представляет интерес для диагностики в медицинских исследованиях.

Целью данной работы являлось выявление и анализ методом лазерной цифровой голографической интерферометрии [5,6,7,8] процессов термоупругих деформаций электронных плат и ПАВ фильтров, а также исследование особенностей морфологии эритроцитов человека методом интерференционной микроскопии.

**Цифровая голографическая интерферометрия и микроскопия электронной платы.** Цифровая голограмма представляет собой интерференционную картину опорного и объектного пучков, записанную на КМОП камеру с высоким разрешением и быстродействием, численные методы позволяют восстановить амплитуду и фазу объектного поля [6-10]. Записав голограммы, соответствующие двум деформационным состояниям объекта, можно численными методами восстановить объектные поля, соответствующие

состоянию исследуемого объекта в разные моменты времени выполнив в численном виде сложение комплексных амплитуд объектных полей [5]

$$I_S(\vec{\rho}_0) = |U_{S1}(\vec{\rho}_0) + U_{S2}(\vec{\rho}_0) \exp(i\Delta\varphi_D)|^2 = I_{S1}(\vec{\rho}_0) + I_{S2}(\vec{\rho}_0) + 2\sqrt{I_{S1}(\vec{\rho}_0)I_{S2}(\vec{\rho}_0)} \cos(\Delta\varphi_S(\vec{\rho}_0) + \Delta\varphi_D) \quad (1.1)$$

где  $\Delta\varphi_S(\vec{\rho}_0)$  пространственный фазовый сдвиг полученный в результате микроперемещений объекта,

$\Delta\varphi_D$  - разность фаз которую можно вводить численным способом в рамках процедуры формирования интерференционного изображения.

Поле микроперещений поверхностей объекта определяется обычным методом интерферометрии

$$g(\vec{\rho}_0) = \frac{\lambda}{2(1 + \cos \alpha)} m(\vec{\rho}_0), \quad (1.2)$$

где порядок интерференции  $m(\vec{\rho}_0)$  определяется относительно точек поверхности, в которых смещение принимается равным 0. В наших экспериментах  $\alpha \approx 20^\circ$  и использовался He-Ne лазер ( $\lambda \approx 0.6328$  мкм).

В работе использовалась оптическая схема записи цифрового сфокусированного изображения объекта и последующего наблюдения - по результатам численного преобразования серии цифровых голограмм описанная в [5].

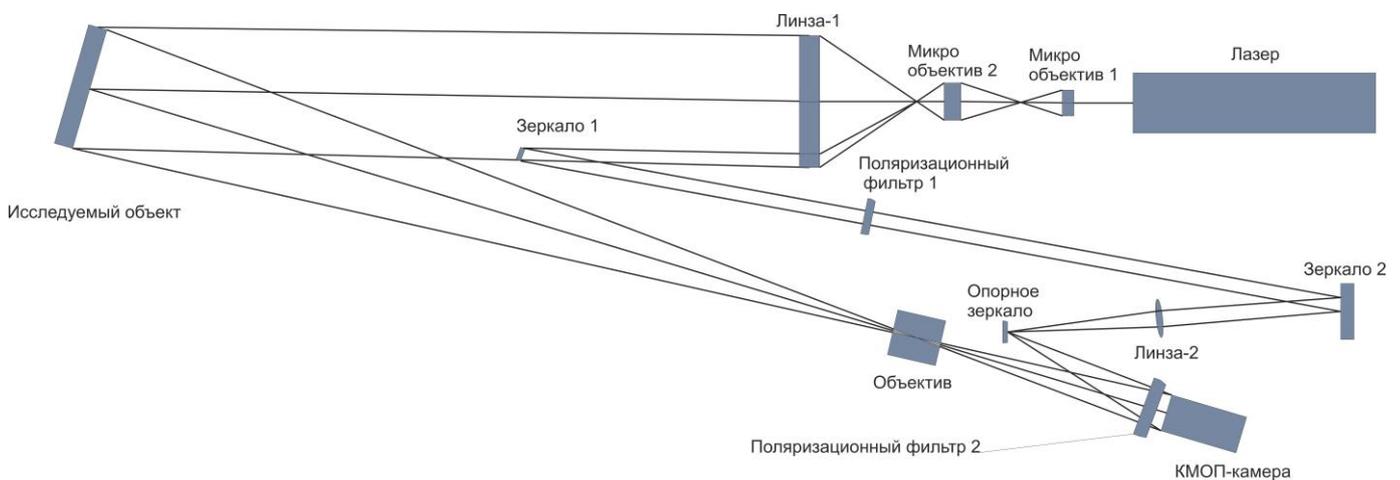


Рис. 1.1 Оптическая схема записи сфокусированного изображения и реализация метода голографической интерферометрии деформаций электронной платы.

Серия последовательно записанных цифровых голограмм подвергалась численной обработке [10-14] для получения интерференционного изображения, которое несет информацию о деформационном смещении поверхности платы при изменении ее температуры на определенную величину.

Процесс обработки пары голограмм, соответствующих разным деформационным состояниям платы, в частности из-за разной температуры платы, проходил в четыре основных этапа [5]: 1 - пространственное фурье-преобразование суммы двух голограмм, соответствующих различным температурным состояниям платы, в результате которого получали суммарный пространственный спектр голограмм; 2 - полосовая пространственная фильтрация полученного спектра с целью выделения спектральных составляющих, соответствующих объектным волновым полям, 3 – второе (обратное) фурье-преобразование отфильтрованной части суммарного спектра голограмм для восстановления комплексной амплитуды суммарного волнового поля изображения объекта, 4 – формирование интерференционного изображения платы по интенсивности – квадрату модуля комплексной амплитуды суммарного поля, отражающего деформационное смещение поверхности платы при изменении ее температуры на определенную величину.

С использованием описанной методики были проведены эксперименты по определению полей микроперемещений поверхности электронной платы под действием изменения температуры в эксплуатационном режиме при равномерном и неравномерном отводе.

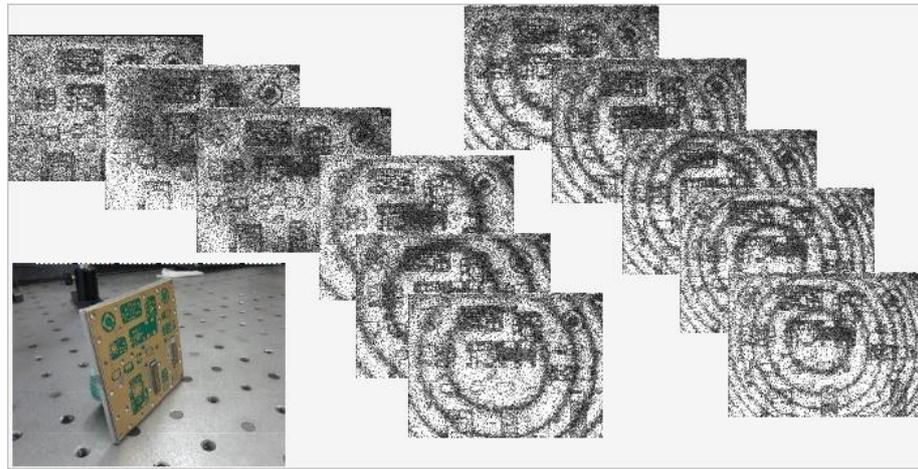


Рис.1.2. Фотография электронной платы и интерферограммы, полученные в результате эксперимента с равномерным отводом тепла.

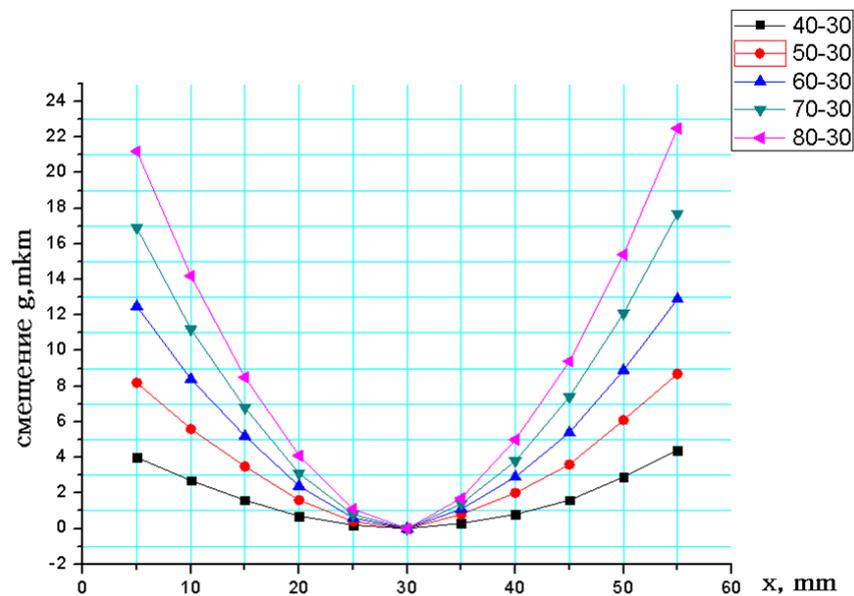


Рис.1.3. График величины смещения  $g$  (мкм) некоторой точки поверхности электронной платы  $x$  (мм). Фиолетовая кривая характеризует остывание с 80 до 30 градусов, зеленая с 70-30, синяя с 60-40, красная с 50-30 и черная с 40-30.

При равномерном отводе тепла наибольшее смещение испытывают точки вблизи краев электронной платы. Также были проведены эксперименты с использованием теплоотводящих устройств, то есть неравномерном отводе тепла.

Определялись поля микросмещений поверхности электронной платы с использованием специального фиксирующего устройства, обеспечивающего жесткую фиксацию платы. Исследовалось влияния восходящих потоков горячего воздуха на интерференционные полосы.

Для выявления и анализа тепловой деформации в ходе длительной нагрузки электронной платы были проведены циклические эксперименты.

Микросмещения фильтров на поверхностно акустических волнах(ПАВ) относительно поверхности самой электронной платы при температурных изменениях представлены в работе.

Были определены допустимые границы теплового воздействия на электронную плату для избегания разрушения ПАВ фильтров.

**Цифровая голографическая микроскопия биологического объекта.** В биологии и медицине для исследования микрообъектов и прозрачных сред требуется определять параметры их внутренней структуры с микронным и субмикронным разрешением. Такие прозрачные объекты и среды модулируют фазу проходящих через них оптического поля, практически не изменяя его амплитуду [15]. Фазовые объекты описываются трехмерным пространственным распределением показателя преломления  $n(x, y, z)$ , который определяется плотностью, концентрацией вещества и другими параметрами объекта.

Для выявления пространственного распределения неоднородностей фазового объекта и визуализации соответствующих фаз возмущений широкое применение нашли методы интерферометрии и интерференционной микроскопии объекта [15], в которых пространственная фазовая модуляция объекта проявляется в его изображении через систему интерференционных полос.

В данной работе по методики [15] исследованы особенности морфологии эритроцитов человека. Методика голографической обработки интерферограммы в частично когерентном свете позволяет восстановить в

численной форме, а затем визуализировать пространственное распределение комплексной амплитуды объектного поля.

Эксперименты проводились на интерференционном микроскопе Линника. Объектом исследования являлся препарат образца крови человека в форме мазка, нанесенного на предметное стекло. Источником света являлась галогенная лампа, затем она была заменена на красный светодиод с длиной временной когерентности больше чем у белого света и меньшей чем у лазера.

По методике [15] был восстановлен микрорельеф поверхности эритроцитов, по которому можно выявлять наличие определенных заболеваний. На рисунке 3 (а,б) представлены трехмерные изображения рельефа поверхности двух эритроцитов.

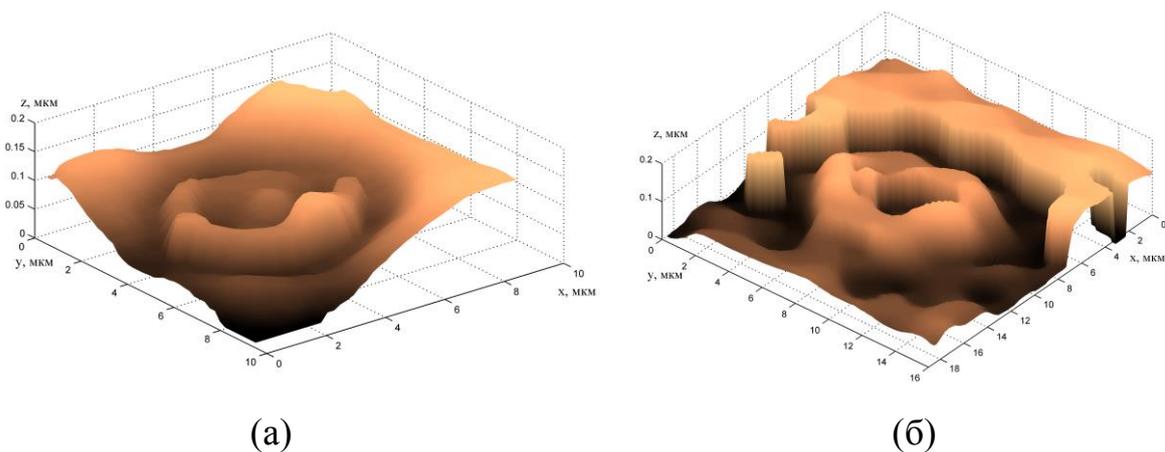


Рис.1.4. Микрорельеф поверхности эритроцитов нативного мазка крови человека.

**Заключение.** Экспериментальный голографический метод позволяет с высокой достоверностью определять локализацию зон концентрации напряжений, проводить оценку существующих уровней напряжений и предельно допустимых режимов эксплуатации, способствует выработке рекомендаций по изменению топологии расположения функциональных элементов, изменению конструкции корпуса с целью уменьшения критичности сложного устройства по отношению к термоциклам.

С субмикронной точностью были определены поля микросмещений полей поверхности электронной платы в ходе тепловых деформаций в рамках эксплуатационных температур. Рассчитана величина смещения прогиба платы при равномерном теплоотводе, построен график величины смещения, создан демонстрационный фильм.

Исследована деформационная картина при неравномерном отводе тепла от платы, создан демонстрационный фильм динамики остывания электронной платы.

Проведены эксперименты с использованием специального фиксирующего устройства, выявлена и проанализирована интерференционная картина при нагреве всего крепежного узла и при нагреве отдельно только платы. При ориентации фиксирующего устройства выпирающей частью в сторону камеры было выявлено влияние восходящих потоков горячего воздуха на интерферограмму.

Был проведен отдельный эксперимент по изучению искажающих интерференционные полосы восходящих потоков воздуха. Был создан демонстрационный фильм.

Проводился эксперимент с возвращением на место верхней крепежной платформы, доказано, что возвращение на место происходит с субмикронной погрешностью. Выявлена сильная деформация поверхности электронной платы в ходе циклической тепловой нагрузки. С субмикронной точностью рассчитаны смещения конкретной точки поверхности ПАВ фильтров относительно всей поверхности электронной платы в ходе тепловой деформации.

В данной работе представлена лишь часть экспериментов и результатов. Так же имеется необработанный материал, включающий в себя интерферограммы и голограммы различных экспериментов: тепловой, механической, а также комбинационной деформации

электронной платы. Не исследованными остались интерферограммы полученные в ходе микроскопического эксперимента изучения локальных смещений интерференционных полос возможно вызванных браком исследуемого изделия с завода изготовителя. Различные варианты тепло отвода и нагревания электронной платы были реализованы, но полученные голограммы не подвергались численной обработке.

С помощью микроинтерферометра Линника были получены интерферограммы, позволяющие выявить микрорельеф поверхности эритроцитов крови.

Результаты экспериментов по определению полей микросмещений поверхности электронной платы в ходе тепловой деформации при равномерном и неравномерном отводе тепла были представлены в стендовом докладе на конференции SFM 2015 и опубликованы в Трудах конференции.

#### **Список используемой литературы.**

1. Вест Ч. Голографическая интерферометрия / Ч. Вест; пер. с англ., - М.: Мир, 1982.- 504 с.
2. Островский Ю.И. Голографическая интерферометрия / Ю.И. Островский, М.М. Бутусов, Г.В. Островская.- М.: Наука, 1977.- 336 с.
3. Кольер Р. Оптическая голография / Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин.- М.: Мир, 1973.- 688 с.
4. Рябухо В.П. Спекл- интерферометрия. Соросовский образовательный журнал, 2001, т.7, № 5. С. 102-109.
5. Рябухо П.В., Савонин С.А., Гризбил Б.А., Якунин А.Н., Шапошников О.А., Рябухо В.П.. Определение полей температурных деформаций электронных плат методами цифровой голографической интерферометрии. Проблемы оптической физики и биофотоники. SFM-2015: материалы

Международ. симп. и Международ. молодеж. науч. школы Saratov Fall Meeting 2015 / Под ред. Г.В. Симоненко, В.В. Тучина. – Саратов: Изд- во «Новый ветер», 2015. – С. 27-33.

6. Диков О.В., Савонин С.А., Качула В.И., Рябухо В.П. Цифровая голографическая интерферометрия микросмещений объектов с рассеивающей поверхностью // Компьютерная оптика. 2012. Т.36. №1. С. 51-64.

7. Савонин С.А., Рябухо П.В., Рябухо В.П.. Постобработка голограмм сфокусированного изображения в цифровой голографической интерферометрии. Компьютерная оптика, 2015. Том 39. №1. С. 26-32.

8. Горбатенко Б.Б., Максимова Л.А., Рябухо В.П., Норов Ю.В.. Реконструкция изображения по пространственному распределению интенсивности дифракционного спекл- модулированного поля. Компьютерная оптика, том31, №2. С. 26-33.

9. Борн, М. Основы оптики/ М. Борн, Э. Вольф; пер. с англ., под ред. Г.П. Мотулевич.- 2-е изд.- М.: Наука, 1973.-720 с.

10. Оптическая голография/ под ред. Г. Колфилда; пер. с англ.- М.: Энергоатомиздат, Т.2. 1991.- 1232 с.

11. Локшин, Г.Р. Основы радиооптики/ Г.Р. Локшин.- М.: Интеллект, 2009.- 344 с.

12. Гудмен, Дж. Введение в фурье- оптику/ Дж. Гудмен; пер. с англ.- М.: Мир, 1970.- 364 с.

13. Краснопевцев Е.А. Преобразование Фурье- Френеля в голографической интерферометрии /Е.А Краснопевцев// Оптический журнал.- 2006.- Т. 73, №2.- С. 31-36.

14. Котельников В.А. О пропускной способности "Эфира и проволоки в электросвязи" /В.А. Котельников// Успехи физических наук.- 2006.- №7.- С. 762-777.

15. Савонин, С.А. Кандидатская диссертация / С. А. Савонин- Саратов, 2016.- С. 230.