

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

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
В ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ МИКРОСКОПИИ  
ФАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ**

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД ОБ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ПОДГОТОВЛЕННОЙ  
НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ)

аспирантки 4 года обучения

направления 03.06.01 «Физика и астрономия»

физического факультета

Изотовой Ольги Александровны

Научный руководитель

профессор кафедры оптики и биофотоники

д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ Рябухо В.П.

Саратов 2018

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность** темы исследования обусловлена высокой практической значимостью и широким применением метода интерференционной микроскопии для исследования фазовых объектов. Данный метод в сочетании с численной обработкой позволяет получать не только качественные, но и количественные данные об исследуемых объектах, что является востребованной задачей во многих отраслях науки и техники. В данной работе в качестве фазового объекта использовались клетки крови, визуализация которых и последующая обработка полученных результатов которых находит широкое применение в биомедицине. Эффективная конструкция и правильный подбор параметров оптической схемы интерференционного микроскопа позволяет улучшить качество получаемого изображения и дает возможность для исследования новых возможностей метода интерференционной микроскопии.

**Целью** исследования является разработка сканирующего интерференционного микроскопа с методом пространственной фильтрации для визуализации и количественного анализа фазовых микроструктур объектов технического и биологического происхождения.

Для достижения цели исследования в рамках работы поставлены и решались следующие **задачи**:

1. Построение теоретической модели формирования сигнала в интерференционном микроскопе;
2. Разработка экспериментального макета по реализации метода интерференционной микроскопии;
3. Исследование влияния параметров осветительной системы интерференционного микроскопа на формируемое изображение;
4. Реализация пространственной фильтрации опорного поля в интерференционном микроскопе;
5. Апробация системы интерференционного микроскопа с дополнительным модулем пространственной фильтрации в качественных и количественных исследованиях фазовых объектов биологического происхождения.

**Объектом исследования** в данной работе являются возможности метода интерференционной микроскопии и механизма оптической пространственной фильтрации в интерференционной системе для визуализации и количественного изучения фазовых структур биологических микрообъектов.

**Предметом исследования** является влияние параметров излучения источника освещения на формируемое методом интерференционной

микроскопии изображение, реализация механизма оптической пространственной фильтрации поля в интерференционной системе микроскопа и увеличение эффективности оптической системы интерференционного микроскопа.

### **Методология и методы исследования**

В работе использовались теоретические методы дифракции и интерференции волн, алгоритмы преобразования поля в оптических системах, основные идеи метода пространственной фильтрации оптического поля, а также метод фазовых шагов для обработки интерференционных изображений и восстановления изображений фазовых объектов.

**Достоверность исследования** подтверждается корректностью методов, используемых для теоретического и практического анализа, а также соответствие выводов, полученных в работе, известным научным результатам.

### **Научная новизна работы:**

1. Разработана новая оптическая схема интерференционной микроскопии с использованием дополнительного к микроскопу интерференционного модуля с формированием опорной волны путем фильтрации оптического поля на отражение;
2. Предложена и разработана теоретическая модель формирования изображения и сигнала в интерференционном микроскопе с источником частично-когерентного света, учитывающая влияние пространственной фильтрации опорного поля на формируемое интерференционное изображение объекта и на восстанавливаемое фазовое изображение.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Представленный обзор методов количественной фазовой визуализации фазовых объектов с учетом особенностей их схемных решений позволяет использовать полученные сведения для развития метода интерференционной микроскопии, рассмотренного в данной работе, повышать эффективность его оптической схемы и методов обработки формируемых интерференционных изображений.

Теоретическая модель формирования изображения фазового объекта в интерференционном микроскопе в частично-когерентном свете, предложенная и развитая в данной работе, позволяет использовать полученные результаты при различной модификации оптических схем, что является практически значимым при описании различных схемных модификаций метода интерференционной микроскопии.

Исследования влияния параметров оптической схемы и пространственной фильтрации в интерференционном микроскопе позволяют улучшить качество регистрируемого интерференционного изображения и обработанного фазового

изображения, что позволит более эффективно применять полученные результаты для практических задач, в частности, в области биомедицины.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Использование в качестве дополнительного интерференционного оптического модуля на выходе оптического микроскопа интерферометра с амплитудным делением волнового поля и пространственной фильтрацией на отражение одного из разделенных полей для формирования опорной волны позволяет реализовать метод количественной фазовой микроскопии в обычном оптическом микроскопе.

2. Оптическая схема интерференционного микроскопа для визуализации фазовых объектов с формированием опорной волны путем пространственной фильтрации на отражение в дополнительном к оптическому микроскопу интерференционном модуле в опорном плече микроскопа;

3. Анализ основных методов количественной визуализации фазовых объектов и их основных схемных решений, принципы которых лежат в основе представленного метода интерференционной микроскопии;

4. Теоретическая модель формирования изображения в интерференционном микроскопе с учетом пространственной фильтрации волнового поля в опорном плече микроскопа;

5. Метод и результаты исследования зависимости качества интерференционного изображения от схемных параметров интерференционного микроскопа.

**Научно-квалификационная работа** состоит из введения, трех глав, и заключения. Первая глава посвящена обзору интерференционных методов визуализации фазовых объектов в микроскопии. Во второй главе предложена теоретическая модель преобразования оптического поля в интерференционном микроскопе. В третьей главе исследуется влияние параметров осветительной системы на формируемое изображение в микроскопе, а также приводится дополнение теоретической модели распространения оптического поля в интерференционном микроскопе с учетом наличия пространственной фильтрации оптического поля в опорном плече микроскопа на отражение. Полный объем работы составляет 51 страницу, включая 7 рисунков. Список литературы содержит 70 наименований.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные выводы по данной работе заключаются в следующем:

1. Приведен обзор интерференционных методов визуализации фазовых объектов в микроскопии, рассмотрены их достоинства, недостатки и используемые на данный момент схемные решения, что является необходимым для построения и анализа теоретической и экспериментальной модели интерференционного микроскопа, исследуемого в данной работе;
2. Разработан экспериментальный макет интерференционного микроскопа для визуализации фазовых объектов;
3. Построена теоретическая модель распространения оптического сигнала в интерференционном микроскопе с частично-когерентным источником света с учетом наличия пространственной фильтрации в опорном пучке на отражение, получены результаты моделирования функции взаимной когерентности в плоскости регистрации интерференционного изображения;
4. Проведено исследование оценки влияния параметров осветительной системы интерференционного микроскопа на получаемые интерференционные изображения исследуемого объекта;
5. Реализован алгоритм оптической пространственной фильтрации опорного поля на отражение в интерференционном микроскопе, приведена дополненная теоретическая модель преобразования оптического поля в интерференционном микроскопе с учетом наличия пространственной фильтрации.

### **Апробация работы**

Результаты проведенной работы были представлены на следующих конференциях:

- Saratov Fall Meeting 2014 (September 22 – 26, 2014, Saratov, Russia)  
Spatial light interference microscopy without liquid crystal phase modulator, O.A. Izotova, A.L. Kalyanov, V. V. Lychagov (стендовый)
- XII Всероссийский молодежный Самарский конкурс-конференция научных работ по оптике и лазерной физике (Самара 12-16 ноября 2014г.)  
SLIM для исследования динамики биологических клеток без использования жидкокристаллического фазового модулятора, O.A. Изотова, А.Л. Кальянов, В.П. Рябухо (стендовый)
- Presenting Academic Achievements To The World 2015 (March 30-31, 2015, Saratov, Russia) Phase contrast microscope with the Michelson interferometer as the phase modulator, O.A. Izotova, V.P. Ryabukho (устный)
- Optical Metrology 2015, ( June 22-25, 2015, Munich, Germany)

Parameter optimization of the phase microscope with the interferometer as a spatial phase modulator, O.A. Izotova, V. P. Ryabukho (стендовый)

- Saratov Fall Meeting 2015 (September 21 – 25, 2015, Saratov, Russia)

The modification of digital phase contrast microscope optical scheme for RBC imaging, O.A. Izotova, V. P. Ryabukho (стендовый)

- Saratov Fall Meeting 2016 (26 – 30 сентября, 2016, Саратов, Россия)

Phase contrast interference microscopy for visualization of RBC, O.A. Izotova, V.P. Ryabukho (стендовый)

- Saratov Fall Meeting 2017 (25-29 сентября, 2017, Саратов, Россия)

The effect of spatial coherence of the field in the method of phase microscopy, O.A. Izotova, V.P. Ryabukho (стендовый)

- XXX Школа-симпозиум по голографии, когерентной оптике и фотонике (2– 6 октября, 2017, Калининград, Россия) Фазовая микроскопия с пространственной фильтрацией оптического поля в исследовании клеток крови, О.А. Изотова (устный)

#### **Публикации по теме диссертации:**

1. Изотова О.А. SLIM для исследования динамики биологических клеток без использования жидкокристаллического фазового модулятора / О.А. Изотова, А.Л.Кальянов, В.П. Рябухо // XII Всероссийский молодежный Самарский конкурс-конференция научных работ по оптике и лазерной физике. Сборник конкурсных докладов. М:– 2014. С. 382-386.

2. Parameter optimization of phase microscope with the interferometer as a spatial phase modulator / O.A. Izotova V.P. Ryabukho // Proc.SPIE. 2015. – P. 95291N1-6 (Web of Science, РИНЦ, Scopus)

3. Изотова О.А. Фазовая микроскопия с пространственной фильтрацией оптического поля в исследовании клеток крови / О.А. Изотова, В.П. Рябухо // XXX Школа-симпозиум по голографии, когерентной оптике и фотонике: материалы школы-симпозиума. – Калининград: БФУ им. Канта. – 2017. – С.187-188.