

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор - начальник  
Управления научной политики  
МГУ имени М.В.Ломоносова

доктор физико-математических наук  
профессор А.А.Федянин



### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Маткивского Василия Александровича «Коррекция фазовых искажений и определение границ объекта в оптической когерентной томографии с использованием методов математической статистики и дифференциальной геометрии», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Визуализация и измерение геометрических параметров биологических объектов – важная задача биомедицинских исследований, для решения которой широко применяются оптические методы. Существует ряд факторов, которые ограничивают поперечное и продольное разрешение получаемых изображений. К ним относятся оптические aberrации системы и дисперсионные характеристики исследуемого объекта. Устранение влияния этих факторов позволяет получить более полную информацию об исследуемых объектах, необходимую в медицинской диагностике и биомедицинских исследованиях.

#### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Маткивского В.А. посвящена актуальной теме применения радиофизических и методов в биомедицинских исследованиях.

Для измерения и компенсации оптических aberrаций в таких системах как глаз человека широко применяются методы адаптивной оптики. С развитием методов интерферометрической регистрации изображений, таких как Оптическая когерентная томография (ОКТ), в некоторых случаях можно отказаться от применения активной коррекции aberrаций в оптическом тракте и компенсировать влияния aberrаций при постобработке. Значительное влияние на построение изображения методом ОКТ также оказывают дисперсионные характеристики среды. Их влияние, как и оптических aberrаций, также может быть компенсировано численно. Разработка численных методов компенсации влияния aberrаций и материальной дисперсии среды является актуальной темой для исследований.

Также в работе рассмотрена задача автоматического определения толщины барабанной перепонки по ОКТ данным. Данная задача является актуальной темой

исследований, т.к. позволяет упростить и ускорить обработку экспериментальных данных в биомедицинских приложениях.

### **Цель диссертационной работы**

Целью работы является разработка численных методов: увеличения поперечного разрешения ОКТ изображений путем численной компенсации влияния оптических aberrаций; восстановления продольного разрешения ОКТ изображений путем численной компенсации влияния материальной дисперсии; а также автоматического определения толщины барабанной перепонки, изображение которой получено с помощью метода ОКТ.

### **Краткий анализ структуры и содержания работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 129 наименований. Общий объем диссертации 114 страниц, включая 29 рисунков.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной темы, сформулирована цель работы, приведены основные положения, отражена научная новизна, представлена структура и общее содержание работы.

В **первой главе** представляющей собой обзор литературы, рассмотрены методы определения оптических aberrаций и материальной дисперсии среды при построении изображений методом ОКТ. Обсуждены основные недостатки, присущие этим методам. Рассмотрена задача автоматического определения толщины барабанной перепонки по ОКТ данным, показаны недостатки методов, представленных в литературе.

Во **второй главе** предложен новый для задач офтальмологии метод компенсации aberrаций с использованием принципов фазового градиентного автофокуса. Было показано, что могут быть восстановлены изображения, искаженные сильными aberrациями (с размахом до  $30$  радиан). Была продемонстрирована компенсации влияния материальной дисперсии среды с использованием принципов фазового градиентного автофокуса. Проведена экспериментальная апробация этого метода при компенсации влияния материальной дисперсии в спектральной Оптической когерентной томографии. Вид восстанавливаемой функции волновой aberrации и дисперсионной зависимости был близок к заданному, как при численном моделировании, так и с использованием экспериментальных данных.

В **третьей главе** выведена оценка максимума правдоподобия, позволяющая оценить значение волновой aberrации по ОКТ данным. Показана возможность определения aberrаций с максимальным значимым числом коэффициентов Цернике выше 6-й радиальной степени. Показана возможность определения глазных aberrаций при близком к максимальному раскрытию зрачка с размахом aberrаций до  $12\pi$  и СКО до  $1.7\pi$  ( $2.3\pi$ , включая дефокус). Было показано, что использование изображения с численно уменьшенной апертурой (для первичного поиска координат центров субизображений) критично для компенсации больших глазных aberrаций. Было выявлено, что деление ковариационной матрицы на несколько матриц увеличивает как скорость, так и качество работы алгоритма. Приведено сравнения оптимизационного и ФГА метода при разном количестве используемых полиномов Цернике. Приведены времена исполнения

алгоритмов в однопоточном режиме. Показано, что с ростом количества используемых полиномов Цернике ФГА метод работает быстрее, чем оптимизационный. При использовании полиномов радиальной степени 11-14, время работы ФГА, в среднем, в 2.5 раза меньше при схожем качестве изображения

### **Достоверность и новизна полученных результатов и выводов**

В диссертационной работе представлен ряд новых научных результатов:

1. Предложен новый для офтальмологических задач метод численной компенсации оптических аберраций в цифровой голографии и в полнопольной оптической когерентной томографии с перестраиваемым источником.
2. Предложен новый метод численной компенсации влияния материальной дисперсии среды при построении изображений методом спектральной оптической когерентной томографии.
3. Предложен новый метод автоматического определения толщины барабанной перепонки с учетом ее сложной геометрии, произвольной ориентации и наличия примыкающих объектов.

Их достоверность подтверждается численным моделированием и экспериментальной верификацией, а также согласованностью полученных результатов с результатами ведущих научных групп, работающих по данной тематике.

### **Практическая значимость**

Разработанные методы и подходы могут быть применены для увеличения разрешающей способности реальных ОКТ-систем без существенного усложнения их аппаратной части. Это расширяет возможную область применения существующих ОКТ-устройств и увеличивает их диагностическую ценность.

### **Соответствие содержания диссертации заявленной научной специальности**

Диссертационная работа полностью соответствует паспорту научной специальности 1.3.4. «Радиофизика» в части формулы специальности:

«...Создание новых методов анализа и статистической обработки сигналов в условиях помех. Разработка статистических основ передачи информации...»

Разработка научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач»

### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат полностью отражает научные положения, выводы, научную новизну, теоретическую и практическую значимость диссертации, содержит информацию об основанных полученных научных результатах.

### **Апробация работы**

Результаты изложены в 12 работах автора, из которых 7 статей опубликовано в рецензируемых российских и зарубежных журналах, в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, и 5 работ в сборниках материалов конференций

### **Замечания по содержанию диссертации**

В работе имеются методические неточности в частности не корректно использовать лишь амплитуды коэффициентов Цернике для характеристики пространственного масштаба фазовых искажений, поскольку aberrации разных порядков могут иметь разные знаки и частично компенсировать друг друга. Общепринятым стандартом является оценка радиуса пространственной корреляции фазовых искажений. Величину aberrаций высших порядков принято характеризовать не размахом (амплитудой) а среднеквадратичным отклонением от опорной сферы гаусса. При исследовании компенсации aberrаций реального глаза не проведены независимые измерения aberrаций и соответственно невозможно оценить точность восстановления фазы предложенным методом. При проведении теоретических оценок почему-то учтен только спекл-шум, вопрос же наличия пуассоновского шума при регистрации интерференционного сигнала оставлен без внимания.

Защищаемые положения сформулированы излишне широко и не конкретно. В частности, Защищаемое положение №1. сформулировано следующим образом: «Численная компенсация мелкомасштабных aberrаций (описываемых десятками полиномов Цернике) с большой суммарной амплитудой (до трех десятков радиан) может быть осуществлена в ОКТ изображениях с использованием принципов фазового градиентного автофокуса без решения многопараметрической оптимизационной задачи и без использования дополнительных измерений». Фактически же в работе в дополнение к регистрации стандартного сигнала ОКТ измеряется фаза световой волны в плоскости изображения либо методом фазового сдвига, либо путем интерференции с наклонным опорным пучком, то есть дополнительные измерения все же проводятся. Кроме того, формулировка о возможности компенсации мелкомасштабных aberrаций значительной амплитуды не подтверждено должным образом экспериментальными и теоретическими результатами и вводит в заблуждение. В экспериментах показана возможность компенсации искажений, описываемых неким набором коэффициентов Цернике, содержащем как aberrации низших, так и высших порядков разной амплитуды, при этом aberrации высших порядков не являются однозначно доминирующими.

### **Заключение по диссертационной работе**

Диссертация «Коррекция фазовых искажений и определение границ объекта в оптической когерентной томографии с использованием методов математической статистики и дифференциальной геометрии» Маткивского Василия Александровича является законченной и самостоятельной научной квалификационной работой, выполненной автором на высоком научном уровне.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация Маткивского В.А. «Коррекция фазовых искажений и определение границ объекта в оптической когерентной томографии с использованием методов математической статистики и дифференциальной геометрии» по актуальности, степени научной новизны и практической значимости, объему выполненных исследований и их ценности соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России к диссертационным исследованиям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. «Радиофизика».

Содержание диссертации обсуждалось на расширенном семинаре кафедры Медицинской физики Физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова 27.10.2021 по результатам доклада соискателя. Настоящий отзыв составлен с учётом этого обсуждения.

Отзыв составлен заместителем заведующего кафедрой медицинской физики Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доцентом, кандидатом физико-математических наук Ларичевым Андреем Викторовичем и заведующим кафедрой медицинской физики Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова доктором физико-математических наук, академиком РАН Панченко Владиславом Яковлевичем.

Заведующий кафедрой медицинской физики МГУ им. М.В. Ломоносова  
д.ф.-м.н., академик. РАН

В.Я.Панченко

Доцент кафедрой медицинской физики МГУ им. М.В. Ломоносова  
к.ф.-м.н.

А.В. Ларичев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский Государственный Университет М.В. Ломоносова».

Почтовый адрес; 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1.

Тел: +7 (495) 939-10-00. E-mail: [info@rector.msu.ru](mailto:info@rector.msu.ru). Сайт: <http://www.msu.ru>