

О Т З Ы В

официального оппонента

д.ф.-м.н., профессора Паршкова Олега Михайловича
на диссертацию Савонина Сергея Александровича

«Методы численной коррекционной постобработки изображений в цифровой голографической интерферометрии»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Диссертационная работа Савонина С.А. относится к важному направлению лазерной физики – лазерным интерференционным измерениям, и посвящена разработке специализированных алгоритмов численной обработки записываемых цифровых голограмм с целью достижения высокого пространственного разрешения при исследовании методом голографической интерферометрии отражающих объектов с рассеивающей поверхностью и прозрачных объектов, а также развитию на их основе новых методов визуализации и контроля пространственных распределений фазы объектных полей в цифровой оптической голографии.

Методы лазерных и оптических измерений, в особенности методы цифровой голографии и цифровой голографической интерферометрии, находят эффективное применение в науке и технике при решении широкого круга задач неразрушающего контроля, прецизионных измерений и высокоразрешающей визуализации поверхностной и внутренней структуры отражающих и прозрачных объектов различной природы. Это обусловлено их высокой чувствительностью и информативностью, бесконтактным характером измерений и возможностью осуществлять дистанционное зондирование исследуемых объектов. Применение цифровых матричных фотодетекторов существенно упрощает процедуру детектирования двумерных сигналов – изображений, а также предопределяет дополнительные возможности по их визуализации, что расширяет

метрологические и функциональные возможности оптической голографии. Важное место в развитии современных методов голографического контроля занимает коррекционная постобработка регистрируемых интерференционных изображений, направленная на повышение пространственного и временного разрешения метода цифровой голографической интерферометрии, а также достижения новых возможностей количественного анализа исследуемых объектов. На этом основании можно утверждать, что тема диссертационной работы и решаемые в ней задачи актуальны и важны для развития теоретических основ и разработки новых методов и средств лазерного голографического интерференционного контроля.

Диссертационная работа Савонина С.А. состоит из введения, четырех глав с оригинальными результатами и их обсуждением, а также заключения и списка литературы, включающего 170 наименований.

Соискателем разработана теоретическая модель формирования картины пространственного распределения интенсивности света на голографической интерферограмме деформации поверхности трехмерного диффузно-рассеивающего объекта. На её основе создана математическая модель и реализован численный алгоритм расчета и визуализации спекл-модулированных интерферограмм рассеивающих объектов с возможностью внесения в модель произвольных параметров деформации поверхности и смещений объекта как целого. Разработанная модель допускает задание различных фазовых распределений в освещающем лазерном пучке и учитывает геометрические и апертурные параметры моделируемой экспериментальной схемы записи голограмм. В ходе проведения «виртуальных» экспериментов показано, что разработанная математическая модель предоставляет широкие практические возможности для получения образцовых интерферограмм различного по характеру и величине деформационного микросмещения поверхности рассеивающих объектов. Такие интерферограммы дают возможность оценить корректность

проведения натурального эксперимента и упрощают количественную расшифровку экспериментальных интерферограмм в том случае, когда объекты испытывают сложные микроперемещения поверхности при воздействии на них нескольких независимых источников деформирующего возмущения одновременно.

Разработан новый метод численной корректирующей постобработки интерферограмм в цифровой голографической интерферометрии нагруженных диффузно-рассеивающих объектов с целью устранения на интерферограммах систем сторонних полос, вызванных возникающими в реальном эксперименте недеформационными смещениями объектов – микронаклонами и их поступательными микросмещениями как целого. Коррекция осуществляется за счет внесения в комплексную амплитуду объектного поля, на этапе формирования интерферограммы, предварительно рассчитанной пространственной функции разности фаз. В работе получены аналитические выражения для различных корректирующих фазовых функций, которые определяются как геометрией схемы записи голограммы, так и характером перемещения объекта как целого. В экспериментальных исследованиях, при решении задач по определению и контролю полей деформационных микроперемещений точек поверхности объектов технического назначения, разработанный метод позволяет сформировать интерферограмму, отражающую только тот фазовый вклад в объектное поле, что определяется чисто деформационными смещениями. Это обеспечивает повышение точности количественного анализа полей деформации поверхности исследуемого объекта в методе цифровой голографической интерферометрии.

В диссертации предложен и экспериментально подтвержден новый способ повышения контраста полос в цифровой голографической интерферометрии, основанный на численном «расширении» пространственно-частотного спектра голограмм в область высоких частот посредством применения к исходным записанным цифровым голограммам

алгоритма ступенчатой интерполяции. При этом на этапе проведения пространственно-частотной фильтрации обеспечивается возможность выделения большего диапазона пространственных частот объектных компонент спектра голограммы. При решении практических задач исследования диффузно-отражающих и прозрачных объектов предлагаемый метод интерполяционной постобработки расширяет возможности метода голографической интерферометрии за счет повышения пространственного разрешения при контроле пространственных фазовых распределений объектных полей.

Предложен и экспериментально подтвержден новый способ трехмерной визуализации микрорельефа поверхности микрообъектов в интерференционной микроскопии с частично когерентным освещением на отражение, основанный на технике голографического восстановления в численной форме пространственного распределения комплексной амплитуды объектного поля в области пространственной локализации полос на интерферограмме, протяженность которой определяется степенью взаимной когерентности интерферирующих полей. Разработанный метод численной голографической постобработки, при использовании его совместно со стандартными системами формирования интерференционных изображений, расширяет их функциональные возможности по визуализации и контролю морфологических и морфометрических параметров исследуемого микрообъекта и позволяет проводить количественную фазовую визуализацию его структуры.

В работе предложен оригинальный метод лазерной голографической интерференционной микроскопии с применением специализированных численных процедур повышения контраста и разрешения высокочастотных интерференционных полос для контроля с высоким пространственным разрешением быстропротекающих микропроцессов в прозрачных средах, характеризующихся большим градиентом показателя преломления в исследуемом микрообъеме среды. Получены аналитические выражения для

оценки пространственно-временных возможностей голографической интерференционной микроскопии при исследовании диффузионных процессов с использованием матричных фотодетекторов с известными частотными параметрами. Развиваемый метод высокоразрешающей голографической микроскопии может найти применение при решении ряда актуальных практических задач науки, техники и биомедицины, таких как прогнозирование диффузионной подвижности компонентов бинарных систем, определение параметров массопереноса и диффузионных характеристик таких систем, а также оценка термодинамических характеристик построенных на их основе материалов, неинвазивные исследования процессов взаимодействия и транспорта лекарственных средств в биологических тканях и клетках.

Таким образом, результаты, полученные в диссертационной работе, обладают как научной новизной, так и практической значимостью.

Сформулированные в диссертации выводы и научные положения в достаточной степени обоснованы использованием в работе широко применяемых в лазерной физике и физической оптике математических методов и методов скалярной теории дифракции, используемых для анализа и описания процесса формирования изображений в когерентных и частично когерентных оптических системах, соответствием используемых численных моделей оптических сигналов и изображений реальным физическим процессам, а также применением апробированных на практике методов компьютерной обработки цифровых изображений и двумерного анализа Фурье.

Достоверность приведенных в диссертации положений и результатов подтверждается соответствием экспериментальных результатов теоретическим выводам и результатам математического моделирования; корректностью постановки численных и натуральных экспериментов; корректностью применения формального теоретического анализа для описания процессов формирования спекл-модулированных интерферограмм.

Однако необходимо отметить, что по диссертационной работе Савонина С.А. имеется несколько замечаний:

1. Рассеянное лазерное излучение, в силу когерентности, имеет сильно выраженные пространственные статистические свойства, в частности, ограниченную длину пространственной корреляции в поперечном и продольном направлениях по отношению к распространению лазерного пучка света. В диссертации формально не рассматриваются проявления этих корреляционных ограничений лазерного излучения, тогда как в интерференционном эксперименте – в голографическом в том числе, они неминуемо должны так или иначе проявляться, как на стадии записи голограмм, так и на стадии формирования интерферограмм.

2. В анализе записи голограмм и формирования интерферограмм используется скалярная теория дифракции и интерференции и не учитывается векторный характер взаимодействия оптических волн в голографических системах и возможные эффекты изменения поляризации и деполяризации лазерных пучков при диффузном отражении.

3. Фотодетекторы, в том числе и матричные, обладают собственными шумами, которые должны проявляться в зарегистрированных голограммах и в восстанавливаемых с них изображениях и интерференционных картинах. В диссертации этот вопрос остался без внимания, тогда как в работе рассмотрены предельные временные и пространственные возможности регистрации цифровых голограмм и формирования голографических интерферограмм.

4. Пространственные параметры матричных фотодетекторов – размеры пикселей и их период расположения, играют исключительно важную роль в цифровой голографии. В диссертации не рассматривается влияние так называемого филл-фактора матричного фотодетектора на свойства восстанавливаемых с голограмм комплексных амплитуд волновых полей и, соответственно, на свойства формируемых интерферограмм.

5. В диссертации остался без внимания вопрос о влиянии модового состава излучения лазеров, использующихся в голографии с цифровой записью голограмм, в частности, вопрос о возможности использования не одномодовых, а многомодовых лазерных пучков света для записи голограмм и реализации метода голографической интерферометрии.

Представленные выше замечания не носят принципиального характера и не снижают ценности, научной значимости и достоверности полученных в диссертационной работе результатов. Диссертация является законченным целостным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие современных методов оптики и лазерной физики, направленных на решение измерительных задач. Основные результаты, полученные в работе, обладают новизной и имеют прикладное значение.

Диссертация прошла достаточно широкую апробацию на всероссийских и международных научных конференциях. По материалам диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых изданиях, установленных Министерством образования и науки РФ для публикации результатов диссертационных исследований. Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

В целом диссертация Савонина С.А. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком теоретическом уровне с применением современных методов исследования, и полностью соответствует специальности 01.04.21 – лазерная физика (физико-математические науки). Работа обладает внутренним единством, актуальна, содержит новые научные результаты, имеющие теоретическое и практическое значение для развития методов лазерной цифровой голографической интерферометрии и голографической микроскопии.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа С.А. Савонина «Методы численной коррекционной постобработки изображений в цифровой голографической интерферометрии» полностью удовлетворяет требованиям,

предъявляемым к диссертациям и изложенным в п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Савонин Сергей Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор,
профессор кафедры «Математика и
моделирование» ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

О.М. Паршков

Рабочий адрес: 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77;

Телефон: 8(452) 99 87 24; e-mail: oparshkov@mail.ru

Подпись Паршкова Олега Михайловича заверяю:

Ученый секретарь Ученого Совета
ФГБОУ ВО «Саратовский
государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.», доктор технических
наук, профессор



П.Ю. Бочкарёв

« 26 » апреля 2016 г.