

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. проф. Демкина В.П. на диссертационную работу Ильиных Сергея Петровича «Методы и алгоритмы высокоразрешающих оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.6 (05.11.07) – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

### **Актуальность темы**

Оптико-электронные методы бесконтактного измерения геометрических параметров статичных и динамических объектов для науки и инновационных промышленных технологий актуальны и востребованы. Научная проблема высокоточных измерений геометрических параметров таких объектов с высоким латеральным разрешением на сегодняшний день не решена в полной мере. Решение обозначенной проблемы важно для науки и особенно актуально для многих промышленных технологий, остро нуждающихся в современном научном, приборном и программно-аппаратном метрологическом обеспечении. Во многом, если не в определяющей степени, достижение как научных, так и практических результатов требует развития математической и алгоритмической поддержки, являющейся неотъемлемой частью развиваемых оптико-электронных систем и технологий.

Работа Ильиных С.П. нацелена на решение обозначенной научно-технической проблемы и представляет несомненный научный и практический интерес.

### **Содержание работы, достоверность и новизна полученных результатов**

Общий объем диссертационной работы 320 страниц. Она состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 264 наименований.

**Во введении** дана краткая характеристика диссертационной работы. Обоснован выбор направления исследования: оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом. Представлен обзор современного состояния методов анализа интерференционных сигналов в оптико-электронных системах с пошаговым фазовым сдвигом. На основании выполненного обзора сформулированы цель и решаемые в работе задачи, направленные на

повышение аксиального и латерального разрешения оптико-электронных систем этого класса, перечислены положения, выносимые на защиту, обсуждаются научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**Первая глава** посвящена обзору современных методов анализа интерференционных сигналов (интерференционных картин) в оптико-электронных системах. Показано, что наиболее перспективным методом является метод фазовых шагов. Метод реализуется множеством различных алгоритмов. Выполнено их обобщение. В результате выполненных исследований получен обобщенный алгоритм, который позволяет с единой позиции производить - как оценку существующих, так и синтез новых алгоритмов.

**Вторая глава** посвящена анализу погрешностей алгоритмов. Выполнен анализ погрешностей и предложены эффективные способы их снижения. Предложен и исследован метод повышения латерального разрешения. Выполненные исследования позволяют значительно снизить погрешность оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом.

**Третья глава** посвящена исследованию нового подхода к анализу оптических сигналов. Подход основан на анализе траектории многомерных интерференционных сигналов в пространстве их интенсивностей. Предложены и исследованы соответствующие алгоритмы. Результаты выполненного исследования позволяют значительно повысить производительность и снизить погрешность оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом.

**Четвертая глава** посвящена решению одной из важнейших проблем интерференционных измерений - расширению динамического диапазона. Исследовались алгоритмы, основанные на системе остаточных классов. Получены алгоритмы устойчивые к случайным шумам.

**Пятая глава** посвящена экспериментальным исследованиям методов повышения латерального разрешения и снижения погрешности оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом, результаты которых убедительно показали высокую эффективность развитых в диссертации методов.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Анализ содержания диссертации говорит о том, что она направлена на

решение проблемы получения оценок геометрических параметров поверхностей различных объектов, в том числе, динамических. В качестве основы решения принята концепция измерения фаз и их разностей на основе фазовых шагов путем анализа изображений, полученных при регистрации рассеянного объектом света (интерференционных картин), особенности которого содержат оцениваемые характеристики. Несмотря на достаточно долгую историю существования интерференционных методов измерения фаз и их разностей, решение проблем, поставленных в диссертации, потребовало развития новых, а также существенной адаптации известных технологий к новым научно-техническим задачам.

Основные усилия, определившие успешность исследований, были направлены на развитие математических методов, адекватно описывающих решаемые задачи. Решение включало в себя традиционные этапы формальной постановки задачи, создания математических моделей, развития численных подходов к их решению. Число решенных локальных задач достаточно велико. Важной особенностью является комплексный характер исследования в целом, благодаря общей ориентации работы на получение конечного результата.

**Обоснованность и достоверность** научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждена аналитическими исследованиями, математическим моделированием, результатами экспериментальных исследований предложенных и реализованных методов и технических решений. Учитывая все вышесказанное, достоверность результатов работы не вызывает сомнений.

**Научная новизна** работы заключается в том, что предложены и реализованы новые методы анализа интерференционных сигналов, обеспечившие точные и устойчивые измерения геометрических параметров статичных и динамичных объектов. Предложены, обоснованы и апробированы:

- цифровая голографическая система реального времени. Система позволила впервые отслеживать прогиб мембраны в темпе изменения нагрузки;

- оптико-электронная система структурного освещения для измерения напряженно-деформированного состояния крупногабаритных объектов.



Достигнут рекордно малый уровень погрешности, для систем данного класса: 10 мкм на базе 0.5 м.

Это стало возможным благодаря применению развитых в диссертации методов анализа.

**Практическая значимость** работы заключается в том, что разработанные методы и алгоритмы высокоразрешающих оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом использованы при выполнении ряда НИР, в том числе, фундаментальных, а сфера их применения может быть расширена на другие области науки и промышленных технологий.

**Положения, выносимые на защиту**, четко сформулированы. Результаты диссертационной работы опубликованы в 54 статьях, в том числе, 25 в рецензируемых журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией и индексируемых в наукометрических системах SCOPUS и WoS, 1 патенте, 2 свидетельствах о госрегистрации программ для ЭВМ, а также представлены на 18 российских и международных конференциях. В указанных выше публикациях полностью изложены основные материалы диссертации. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

#### **Замечания**

- Метод фазовых шагов требует регистрации не менее 3 интерференционных картин. На с. 191 диссертации утверждается, что этот метод можно реализовать, используя только 2 интерференционные картины.
- На рис. 2.1.1 с. 82 автором приведена классификация источников погрешности определения фазы. В качестве одного из источников на ней указана вибрация элементов конструкции измерительной системы. Однако ее исследование в диссертации отсутствует.
- В автореферате следовало привести внешний вид и оптические схемы разработанных измерительных систем.

#### **Заключение**

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. В целом, диссертация С.П. Ильиных «Методы и

алгоритмы высокоразрешающих оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой, на основании выполненных автором исследований методов оптических измерений созданы аппаратно-программные комплексы измерительных систем, ориентированные на применение в научных экспериментах и в промышленных технологиях, обладающие расширенными функциональными возможностями и высокими точностными характеристиками. Полученные результаты представляют собой новые научно-технические и технологические и технические решения, которые вносят значительный вклад в развитие страны. Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы, обладают научной новизной и представляют практическую ценность.

Диссертация Ильиных С.П. отвечает критериям, установленным в п. 9-11, 13-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а сам соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.6 (05.11.07) – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Д.ф.-м.н. проф.  
заведующий кафедрой общей  
и экспериментальной физики  
Томского государственного  
университета

В.П. Демкин

Индекс, почтовый адрес места работы:  
634050, Томская область, Томск, пр. Ленина 36.  
Рабочий e-mail, [demkin@ido.tsu.ru](mailto:demkin@ido.tsu.ru)  
рабочий телефон: (382-2)78-56-19.



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ  
ЩИЙ ДОКУМЕНТОВЕД  
ПРАВЛЕНИЯ ДЕЛАМ

В. В. АНРИЕНКО