

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе НГТУ  
доктор технических наук, доцент  
Брованов Сергей Викторович



2021 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

Диссертация «Методы и алгоритмы высокоразрешающих оптико-электронных интерференционных измерительных систем с пошаговым фазовым сдвигом» выполнена на кафедре Вычислительной техники.

В период подготовки диссертации Ильиных Сергея Петрович с 2011 года по настоящее время работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре Вычислительной техники в должности доцента.

В 1991 году Ильиных С.П. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка, исследование и применение голограммических систем, основанных на методе фазовых псевдосдвигов» по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы» в диссертационном совете Д.063.34.03 созданном на базе Новосибирского электротехнического института. Выдан диплом кандидата технических наук серии КД № 051223.

В 1985 году Ильиных С.П. окончил «Новосибирский электротехнический институт» по специальности 0705 – «Конструирование и производство радиоаппаратуры», выдан диплом с отличием, присвоена квалификация «Инженер-конструктор технолог радиоаппаратуры».

Научный консультант – Гужов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра «Систем сбора и обработки данных», должность профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение (выписка из протокола расширенного заседания кафедры Вычислительной техники):

### **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

В последние годы при разработке оптико-электронных измерительных систем особое внимание уделяется методах расшифровки интерференционных картин на основе пошагового фазового сдвига. Это вызвано простотой задания значений фазового сдвига, несложными алгоритмами и высокой точностью расшифровки. При этом существующие схемы интерферометров легко модифицируются. Благодаря своим достоинствам метод применяется не только при анализе оптических интерференционных картин, но и в смежных областях техники, например, при измерениях, основанных на структурированном излучении, при измерениях в СВЧ диапазоне и т.п.

В разработке оптико-электронных интерференционных измерительных систем исторически сформировались два основных направления.

Первое основано на совершенствовании алгоритмов анализа и расшифровки цифровых интерференционных картин. Повышение аксиального разрешения интерференционных картин и снижение их чувствительности к дестабилизирующим факторам: фоновой засветки, неточности задания фазовых сдвигов и нелинейности профиля интерференционных полос и т.п. путем разработки и применения, специализированных самокалибрующихся алгоритмов, позволяющих извлекать информацию о состоянии измерительной системы непосредственно из интенсивности интерференционных картин.

Второе направление, получившее широкое распространение связано с повышением латерального разрешения оптических измерительных интерференционных систем. Поэтому важное внимание уделяется эффективным методам решения таких систем уравнений, например, путем их распараллеливания и решения с помощью графических ускорителей.

Несмотря на обилие разработанных методов анализа и расшифровки интерференционных картин интерес исследователей к ней не ослабевает. Это свидетельствует о важности и значимости данной проблемы.

Однако данный метод имеет существенные недостатки. Погрешность измерений зависит от: точности внесения фазовых сдвигов; изменения амплитуды интерференционной картин, которые могут зависеть от величины вносимого фазового сдвига; влияния нелинейности интенсивности при регистрации. Разработка и исследование новых методов и алгоритмов расшифровки интерференционных картин в оптико-электронных измерительных системах позволит устраниить указанные недостатки и значительно расширить область их применения.

Таким образом, исследование и разработка новых подходов и принципов построения алгоритмов анализа интерференционных сигналов в оптико-электронных измерительных системах является актуальной задачей.

**Целью** диссертации является разработка и исследование новых высокоразрешающих методов и алгоритмов расшифровки интерференционных картин в оптико-электронных системах с пошаговым фазовым сдвигом.

В ходе исследования решались следующие задачи:

1. Разработка и исследование обобщенного метод анализа интерференционных сигналов в оптико-электронных измерительных системах с пошаговым фазовым сдвигом.
2. Разработка и исследование оптимального по количеству фазовых шагов алгоритма анализа интерференционных сигналов в оптико-электронных измерительных системах с пошаговым фазовым сдвигом.
3. Теоретическое обоснование, разработка и исследование методов траекторного анализа интерференционных сигналов.
4. Разработка алгоритмов определения полной фазы, не требующих нахождения фазовых переходов в локальной окрестности поля интенсивности интерференционных картин.
5. Разработка и экспериментальное апробирование метода повышения пространственного разрешения интерференционных измерительных систем на основе субпиксельного сканирования.
6. Разработка программно-алгоритмического комплексов, реализующих предлагаемые алгоритмы расшифровки и анализа цифровых интерференционных картин.
7. Разработка и экспериментальное исследование высокопроизводительных оптико-электронных измерительных систем высокого разрешения, реализующих предлагаемые методы и алгоритмы расшифровки интерференционных картин.

## **2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

Диссертация Ильиных С.П. является научной работой, написанной им самостоятельно. Личный вклад соискателя состоит в определении целей и задач исследования. Теоретические и методологические положения, рекомендации и выводы, содержащиеся в диссертации, являются результатом самостоятельного исследования соискателя. В частности, такие как: обобщение широко известных алгоритмов интерференционных измерений, траекторный анализ интерференционных сигналов, методы повышения латерального разрешения и

т.д. Все результаты, представленные в диссертации, получены автором самостоятельно или под его руководством и при его непосредственном участии. В совместных работах вклад соискателя состоял в обосновании целей, постановке задач и разработке методик исследований, постановке экспериментов, обсуждении их результатов и формировании общих выводов. Использование результатов, полученных в совместных исследованиях, согласовано с коллегами. В диссертации отсутствуют заимствованные материалы без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

### **3. Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Научные результаты полученных в ходе диссертационного исследования обладают высокой степенью достоверности, что обеспечивается корректным теоретическим обоснованием разработанных методов и алгоритмов анализа интерференционных сигналов в оптико-электронных измерительных системах; согласованностью результатов численных и натурных экспериментов, проведённых в ходе данного исследования, а также заключениями экспертных комиссий при презентации данной работы на 18 российских и международных конференциях и научных школах.

### **4. Новизна и практическая значимость результатов проведенных исследований**

Научная новизна заключается в следующем:

1. Предложен обобщенный метод оценки разности фаз интерферирующих пучков в оптико-электронных измерительных системах с пошаговым фазовым сдвигом. Показано, что широко известные алгоритмы демодуляции интерференционных картин являются следствием предлагаемого метода.

2. Предложены методы преобразования траектории интерференционных сигналов в оптико-электронных измерительных системах, позволяющие устраниТЬ влияние неточности задания фазовых сдвигов.

3. Синтезирована оптимальная по количеству фазовых сдвигов формула расшифровки интерференционных картин, устойчивая к нелинейности профиля интерференционных сигналов.

4. Предложен метод повышения пространственного разрешения оптико-электронных интерференционных измерительных систем с повышенным быстродействием, позволяющий производить измерения в режиме реального времени.

5. Предложен помехоустойчивый алгоритм развертывания фазы по совокупности многочастотных интерференционных сигналов.

6. Предложен метод измерения фазы интерференционных сигналов, не требующий априорной информации о фазовых сдвигах.
7. Продемонстрирована возможность высокоточного измерения параметров напряженно-деформируемого состояния крупногабаритных объектов.

**Практическая значимость** диссертационного исследования заключается в следующем:

- 1) Разработанные методы оценки фазы интерференционных сигналов, обладают более высокой чувствительностью и повышенным пространственным разрешением по сравнению с известными аналогами.
- 2) Разработанные методы синтеза выражений для расшифровки минимизируют количество фазовых сдвигов, что позволяет снизить время измерений.
- 3) Предлагаемые в работе принципы повышения пространственного разрешения оптико-электронных систем подтверждены экспериментально.
- 4) Разработанные измерительные системы применялись для решения ряда прикладных задач исследования напряженно-деформируемого состояния различных объектов.

## **5. Теоретическая и прикладная ценность научных работ соискателя**

Представленная работа направлена на решение главных проблем оптической интерферометрии – разработку теоретических основ новых эффективных методов и алгоритмов анализа оптических волновых полей, решения задачи устранения фазовой неоднозначности и повышения латерального разрешения оптико-электронных систем на основе пошаговых фазовых сдвигов.

Выполненные в рамках диссертации исследования, получили поддержку:

1) Программа стратегического развития НГТУ на 2012 г., проект 2.3.1 «Решение комплексных проблем по направлению "Информационные и цифровые технологии и системы", НИР С2-7 (руководитель). Разработана и исследована цифровая оптико-электронная измерительная система контроля напряженно-деформируемого состояния крупногабаритных объектов. Создан программно-алгоритмический комплекс, позволяющий выполнять измерения в режиме реального времени. Система позволяет измерять отклонения поверхности крупногабаритных объектов с микрометровой точностью.

2) Грант РФФИ 06-08-00616-а «Разработка и исследование высокоточных прецизионных интерференционных систем для измерения объектов со сложной формой рельефа», 2006-2008г.г. (ответственный исполнитель). В ходе выполнения проекта выполнена разработка теоретических основ создания высокоточных интерференционных систем с расширенным динамическим

диапазоном. На первом этапе проекта выполнена экспериментальная проверка соотношения между различными длинами волн лазерных излучателей, которые выражаются простыми числами. На основании данных соотношений во втором этапе проекте разработана теория построения оптико-электронных интерференционных измерительных систем, использующих несколько длин волн лазерного излучения и оценка их предельных характеристик (точность и диапазон измеряемых величин). На третьем этапе проекта разработана и реализована структура прикладных оптико-электронных измерительных систем для широкого круга приложений.

3) Грант РФФИ 14-08-01100А «Цифровая голографическая интерферометрия реального времени для экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния динамических объектов», 2014-2015г.г. (ответственный исполнитель). Разработана цифровая голографическая система, работающая в реальном масштабе времени, разработаны новые алгоритмы анализа оптической информации, обеспечивающих высокую скорость обработки и точность измерений в широком динамическом диапазоне. Решение данной фундаментальной задачи позволило построить новый класс оптико-электронных измерительных систем, обеспечивающих измерение и контроль динамических объектов в режиме реального времени, с высокой точностью и большим динамическим диапазоном.

4) Грант РФФИ 16-08-00565А «Разработка методов сверхразрешения в цифровой голографической интерферометрии», 2016-2017г.г. (ответственный исполнитель). Теоретически обоснован и практически разработан метод цифровой голографической интерферометрии сверхвысокого разрешения (super-resolution digital holography interferometry) для исследования биологических и промышленных объектов. Выполнены экспериментальные исследования подтверждающие практическую работоспособность реализованного метода цифровой голографической интерферометрии сверхвысокого разрешения.

5) Грант РФФИ 18-08-00580А «Разработка и исследование методов компьютерной голографической интерферометрии объектов сложной формы», 2018-2019г.г. (ответственный исполнитель). Разработаны новые методы цифровой голографической интерферометрии, которые позволяют анализировать объекты сложной формы, в которых перепад профиля в соседних точках измеряемого рельефа значительно превышает длину волны лазерного излучения.

## **6. Научная специальность, которой соответствует диссертация**

Диссертационная работа Ильиных Сергея Петровича «Методы и алгоритмы высокоразрешающих оптико-электронных интерференционных измерительных систем с пошаговым фазовым сдвигом» соответствует паспорту научной специальности 05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы», ее формуле «... специальность в области науки и техники, занимающаяся использованием оптического диапазона электромагнитных волн для создания исследовательских, измерительных, ... и технологических приборов, систем ..., а также разработкой способов применения таких приборов, систем ... . Значение решения научных и технических проблем в данной области состоит в создании новых методов и аппаратуры для физических исследований с использованием оптического излучения, высокоточных измерений, ... и решения других задач народнохозяйственного и оборонного назначения, требующих использования оптической и оптико-электронной техники» и областям исследований, обозначенных в пунктах:

«1. Исследование и разработка новых методов и процессов, которые могут быть положены в основу создания оптических и оптико-электронных приборов, систем и комплексов различного назначения».

«2. Разработка, совершенствование и исследование характеристик приборов, систем и комплексов с использованием электромагнитного излучения оптического диапазона волн, предназначенных для решения задач:

- исследования и контроля параметров различных сред и объектов, в том числе при решении технологических, экологических и биологических задач;
- приема, обработки и отображения информации;
- создания оптического и оптико-электронного оборудования для научных исследований в различных областях науки и техники».

## **7. Полнота изложения материалов диссертации в работах опубликованных соискателем**

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 52 научных работах, из них работ, опубликованных согласно перечню российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК) – 25, из них в научных изданиях, индексируемых базами Scopus и/или Web of Science - 16; в научных изданиях также индексируемых этими базами - 17, получен патент РФ на полезную модель.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях (из перечня ВАК):

1. Ильиных С.П. Псевдодинамический анализ интерферограмм / С. П. Ильиных // Науч. Вест. НГТУ. – 2000. – №2. С. – 100-102.
2. Денежкин, Е. Н. Голографический неразрушающий контроль композитных цилиндрических оболочек / Е. Н. Денежкин, С. П. Ильиных, В. А. Хандогин // Оптика и Спектроскопия, 1989. – № 3 (66). – С. 642–647.  
Переводная версия:  
Denezhkin, E. N. Holographic nondestructive quality control of composite cylindrical shells / E. N. Denezhkin, S. P. Il'inykh, V. A. Khandogin // 1989. – The Soviet journal of nondestructive testing. – 3(66). – P642-647.
3. Гужов В. И. Новый метод анализа интерферограмм с произвольно заданными пошаговыми фазовыми сдвигами / В. И. Гужов, С. П. Ильиных // Автометрия. - 2002. – № 2. – С. 72–79.
4. Хандогин, В. А. Программно-алгоритмический комплекс для расшифровки интерферограмм / В. А. Хандогин С. П. Ильиных, С. Т. Де // Дефектоскопия. – 1989. – № 3. – С. 58–63.
5. Количественная расшифровка интерферограмм на основе фазовых псевдосдвигов. Ч I. Анализ и алгоритмы / А. Н. Гришанов, С. Т. Де, С. П. Ильиных, В. А. Хандогин // Автометрия. – 1989. – № 1. – С. 3-10.  
Переводная версия:  
Quantitative interpretation of interferograms on basis of phase pseudoshifts. I. Analysis and algorithms / A. N. Grishanov, S. T. De, S. P. Il'inykh, V.A. Khandogin // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 1989. – № 1. – Р. – 1-8.
6. Де, С. Т. Количественная расшифровка интерферограмм на основе фазовых псевдосдвигов. Ч II. Реализация алгоритмов / С. Т. Де, С. П. Ильиных, В. А. Хандогин // Автометрия. – 1989. – № 1. – С. 11-19.  
Переводная версия:  
De, S. T. Quantitative interpretation of interferograms on basis of phase pseudoshifts. II. Implementation of algorithms /, S. T. De, S. P. Il'inykh, V. A Khandogin // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 1989. – №1. – Р. 11–19.
7. Денежкин, Е. Н. Количественная расшифровка интерферограмм на основе фазовых псевдосдвигов. Ч III. Родственные алгоритмы / Е. Н. Денежкин, С. П. Ильиных, В.А. Хандогин // Автометрия. – 1989. – № 2. – С. 51–56.  
Переводная версия:  
Denezhkin, E. N. Quantitative decoding of interferograms on basis of phase pseudoshifts. III. Related algorithms / E. N. Denezhkin, S. P. Il'inykh,

- V. A Khandogin // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 1989. – № 2. – P 52–57.
8. Гужов, В. И. Обобщенный алгоритм расшифровки интерферограмм с пошаговым сдвигом / В. И. Гужов, С. П. Ильиных // Автометрия. - 2002. - № 3. - С. 123–126.  
Переводная версия:  
Guzhov, V. I. A generalized decoding algorithm for interferograms using phase stepping / V. I. Guzhov, S. P. Il'inykh // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2002. – № 3. – P. 103-106.
9. Гужов В. И. Новый метод анализа интерферограмм с произвольно заданными пошаговыми фазовыми сдвигами / В. И. Гужов, С. П. Ильиных, // Автометрия. - 2002. - № 2. - С. 72-79.  
Переводная версия:  
Guzhov V. I. New interferograms analysis method with arbitrary given step-by-step phase shifts / V. I. Guzhov, S. P. Il'inykh // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2002. – Iss.2. – P. 72–79.
10. Ильиных, С.П. Измерение волновых фронтов в интерферометрах сдвига / С. П. Ильиных, В.И. Гужов, Е. М. Мишина // Автометрия. – 2003. – № 2 (3). – С 36-42.  
Переводная версия:  
Il'inykh, S.P. Wavefront measurement in shifting interferometers / S.P. Ilinykh, V.I. Guzhov, E. M. Mishina // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2003. – Iss. 2 (3). – P. 32–37.
11. Робастный алгоритм расшифровки интерферограмм / С. П. Ильиных, В. И. ужов, Н. Е. Кафидова, Д. Д. Бочаров // Автометрия. – 2005. – № 3 (41). – С. 122–125.  
Переводная версия:  
Robust interferogram decoding algorithm / S. P. Il'inykh, V. I. Guzhov, N. E. Kafidova, D. D. Bocharov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2005. – 3 (44) – P. 103–106.
12. Гужов В.И. Коррекция систематических погрешностей при определении полной фазы в целочисленной интерферометрии / В.И.Гужов, С.П., Ильиных, Е.В. Картавых // Автометрия. – 2008. – №6 (44). – С 56-60.  
Переводная версия:  
Guzhov V. I. Systematic Error Correction in Determining the Total Phase in Integer Interferometry / V. I. Guzhov, S. P. Il'inykh, E. V. Kartavykh //

Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.-2008., Vol.44No.6.- P. 552-556.

13. Устранение ошибок фазовых сдвигов в интерферометрии / В. И. Гужов, **С. П. Ильиных**, Д.А . Хайдуков, А. Р. Вагизов // Автометрия. – 2011. – № 1 (47). – С. 96–101.

Переводная версия:

Eliminating phase-shift errors in interferometry / V. I. Guzhov, **S. P. Ilinykh**, D. S. Haydukov, A. R. Vagizov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2011. – №1. – P. 76–80.

14. Гужов В. И. Проекционный метод измерения рельефа объекта / В. И. Гужов, **С. П. Ильиных**, А.И. Уберт // Научн. Вест. НГТУ. – 2012. – №1(46) – С. 23–28.

15. Гужов В. И. Решение проблемы фазовой неоднозначности методом целочисленной интерферометрии / В. И. Гужов, **С. П. Ильиных**, А. Р. Вагизов, Р. А. Кузнецов // Автометрия. – 2013. – Т. 49. – № 2. – С. 85–91.

Переводная версия:

Guzhov V. I. Solution of the problem of phase ambiguity by integer interferometry / V.I. Guzhov, S.P. Il'Inykh, R.A. Kuznetsov, A.R. Vagizov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2013. - Vol. 49, Iss. 2. - P. 178-183.

16. Гужов В.И. Новый метод калибровки фазовых сдвигов / В.И. Гужов, **С.П. Ильиных**, Д.С. Хайдуков, Р. А. Кузнецов // Науч. Вест. Новосибирского государственного технического университета. - 2013. - № 1. - С. 185-189.

17. Новый метод анализа интерферограмм с произвольно заданными пошаговыми фазовыми сдвигами / В. И. Гужов, **С. П. Ильиных**, Д. С. Хайдуков, Р. А. Кузнецов // Автометрия. - 2002. - №2 – С. 72-79.

18. Квазигетеродинный метод интерференционных измерений / В.И. Гужов, **С.П. Ильиных**, И.А. Сажин [и др.] // Автометрия. – 2015. – № 3 (51). – С. 80–87.

Переводная версия:

Quasiheterodyne method of interference measurements / V. I. Guzhov, **S. P. Ilinykh**, I. A. Sazhin, [et. al.] // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2015. - Iss. 3 (51). – P. 280-286.

19. Цифровая голографическая интерферометрия реального времени для экспериментального исследования напряженно-деформированного

состояния динамических объектов /В. И. Гужов, С. П. Ильиных, Р. А. Кузнецов, Е. С. Кабак // Омский научный вестник. – 2015. – № 1 (137). – С. 158–162.

20. Быстрый алгоритм синтеза высокоразрешающих растрров в цифровой голограмии = A quick algorithm of high-resolution raster synthesis for digital holography / В. И. Гужов, С. П. Ильиных, Д. С. Хайдуков, И. О. Марченко // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. - 2017. – № 2. – С. 83–93.
21. Гужов В. И. Восстановление фазовой информации на основе методов пошагового фазового сдвига при малых углах между интерферирующими пучками / В. И. Гужов, С. П. Ильиных, С. В. Хайбуллин // Автометрия. - 2017. - Т. 53, № 3. - С. 101-106.

Переводная версия

Guzhov V. I. Phase information recovery based on the methods of phase shifting interferometry with small angles between interfering beams / V. I. Guzhov, S. P. Il'Inykh, S. V. Khaibullin // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2017. - Vol. 53, iss. 3. - P. 288-293

22. Гужов В. И. Сверхразрешение в цифровой голограмии [Электронный ресурс] / В. И. Гужов, И. О. Марченко, Г. А. Поздняков, С. П. Ильиных // Инженерный вестник Дона : электрон. науч. журн.. - 2018. - № 3. - С. 1-16.
23. Гужов В. И. Восстановление изображений из цифровых голограмм, полученных при задании случайных фазовых сдвигов / В. И. Гужов, С. П. Ильиных, Г. А. Поздняков, Д. С. Хайдуков // Автометрия. - 2019. - № 6. - С. 126-135.

Переводная версия:

V. I. Guzhov, Image reconstruction from digital holograms obtained by specifying random phase shifts / V. I. Guzhov, S. P. Il'Inykh, G. A. Pozdnyakov, D. S. Khaidukov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2019. - Vol. 55, iss. 6. - P. 638–646.

24. Метод бесконтактного измерения деформаций больших объектов на основе структурированного освещения / В. И. Гужов, С. П. Ильиных, Е. Е. Трубилина, Д. С. Хайдуков // Автометрия. - 2020. - Т. 56, № 4. - С. 81-88. - DOI: 10.15372/AUT20200409.

Переводная версия:

Guzhov V. I. Method of contactless measurement of large object deformations based on structured illumination / V. I. Guzhov, S. P. Il'Inykh, E. E. Trubilina,

D. S. Khaidukov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2020. - Vol. 56, iss. 4. - P. 386-392. - DOI: 10.3103/S875669902004007X.

25. Гужов В. И. Определение полей деформаций диффузных объектов методом цифровой голографической интерферометрии с пошаговым фазовым сдвигом / В. И. Гужов, Е. Н. Денежкин, С. П. Ильиных, Г. А. Поздняков, Д. С. Хайдуков // Автометрия. - 2020. - Т. 56, № 6. - С. 61–67. - DOI: 10.15372/AUT20200607.

Переводная версия:

Guzhov V. I. Determination of deformation fields of diffuse objects by phase-shifting digital holographic interferometry / V. I. Guzhov, E. N. Denezhkin, S. P. Ilinykh, G.A. Pozdnyakov, D.S. Khaidukov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. - 2020. - Vol. 56, № 6. - P. 608-612. - DOI: 10.3103/S8756699020060084.

**В полученных патенте РФ на полезную модель:**

26. Патент № 181750 МКИ G01 B9/021 Цифровое голографическое устройство (Россия) // В.И. Гужов, С.П. Ильиных, Опубл. 26.07.2018.

Научные результаты диссертации отражены также в следующих **научных изданиях** (индексируемых базами Scopus и/или Web of Science):

27. Generic algorithm of phase reconstruction in phase-shifting interferometry / V. I. Guzhov, S. P. Ilinykh, R. A. Kuznetsov, [et. al.] // Optical Engineering. – 2013. – Vol. 52, Iss. 3. – Art. 030501(3 p.).
28. Guzhov V. I. Method for increasing the dynamic range of digital images based on modular arithmetic / V. I. Guzhov, S. P. Ilinykh, D. S. Khaidukov // Journal of Physics: Conference Series. - 2020. – Vol. 1661: International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020), Novosibirsk, 6-8 Apr. 2020. - Art. 012040 (6 p.). - DOI: 10.1088/1742-6596/1661/1/012040.
29. Guzhov V. I. Experimental checking the method of the expansion of the dynamic range interference systems / V.I . Gushov, S.P. Ilinykh, E. N. Denegkin, V. G. Nechaev, D. D. Bocharov. // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 6262, 2006.
30. Guzhov V. I. Using the Trajectory Analysis for Measuring Nano-Object by the Interference Phase-Shifting Systems / V. I. Guzhov, S. P. Ilinykh, D. S. Haydukov, M. E. Ilyin // Proceedings of IFOST-2008: The Third International Forum on Strategic Technologies, June 23-29, 2008. Novosibirsk, 2008. – P.193–194.
31. Guzhov V. I. New principle of the shaping the nonline illumination in optical measuring systems / V. I. Guzhov, S. P. Ilinykh, A. R. Vagizov,

- R. A. Kuznetsov // Proceedings of IFOST-2011 Vol.2: The 6-th International Forum on Strategic Technologies, August 22-24, 2011, Harbin, China, 2011, P. 652–654.
32. Guzhov V. I. Decoding algorithm for interference patterns in phase shifting interferometry without a priori shift knowledge / V. I. Guzhov, **S. P. Ilinskykh**, D. S. Haydukov R. A. Kuznetzov // Proceedings of IFOST 2012. The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST-2012 (17-21 Sep., Tomsk) Polytechnic University. – Vol. I, 2012. – P. 674–676.
  33. Guzhov V. I. Method of an Assessment of Reliability of High-Precision Measurements / V. I. Guzhov, **S. P. Ilinskykh**, D. S. Haydukov R. A. Kuznetzov // Proceedings of APEIE 2012. 11-th International Conference on actual problem electronics instrument engineering. VOLUME I , 2012 – P. 105–106.
  34. Guzhov V. I. Robust method of absolute phase mapping by projection of series sine patterns with different periods / V.I. Guzhov, **S.P. Ilinskykh**, E.S. Kabak, R.A. Kuznetsov // The 8 international forum on strategic technologies (IFOST 2013) : proc., Mongolia, Ulaanbaatar, 28 June – 1 July 2013. – Ulaanbaatar, 2013. – Vol. 1. – P. 405–407.
  35. Guzhov V. I. Robust method analysis interferogram with distortion the profile of fringes / V. Guzhov, **S. Ilinskykh**, E. Denegkin , D. Haydukov, E. Kabak // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014) : 2014 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2014 Proceedings. – P. 75-78.
  36. Guzhov V. I. A new approach to improving the quality of measurements in multi-wave interference systems / V.I. Guzhov, **S.P. Ilinskykh**, E.S. Kabak, P.S. Rizov // International Siberian conference on control and communications (SIBCON–2015) : proc., Omsk, 21–23 May, 2015. – Omsk: IEEE, 2015. – Art. 7147033. – ISBN 978–1–4799–102–2.
  37. Guzhov V. I. The recovery of the phase information from the digital holograms with small angles of interference / V.I. Guzhov, **S.P. Ilinskykh** // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016) 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering, APEIE 2016 – Proceedings 1, P. 274-276.
  38. Guzhov V. I. Step-by-step method with phase shift is-use changes in the intensity of interfering beams / Гужов, В. И. **С. П. Ильиных** // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016) : тр. 13 междунар. науч.-

техн. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 3, ч. 2. – 2016. – С. 77–79.

39. Guzhov V. I. Eliminating the effect of non-linear distortion of profile fringes for structured illumination method / Guzhov, V.I., **Ilinykh S.P.**, Emelyanov, V.A., Marchenko, I.O. // Proceedings - 2016 11th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2016, P. 531-534.
40. Guzhov V. I. Determination of complex amplitudes of the reference and subject the wave fields on interference patterns / Guzhov, V.I., **Ilinykh, S.P.**, Emelyanov, V.A., Marchenko, I.O. // Proceedings - 2016 11th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2016, P. 531-534.
41. Guzhov V. I. Decrease in the error at elimination of phase ambiguity by method of equivalent wavelength / V. I. Guzhov, **S. P. Ilinykh**, G. A. Pozdnyakov // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018) : тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. : в 8 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1, ч. 2. – С. 57-60.
42. Guzhov V. I. Expansion of dynamic range in phase-shifting interferometry / V. I. Guzhov, **S. P. Ilinykh**, I. O. Marchenko // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018), 2018. – V. 1, Iss. 2. – P. 53-56. - ISBN (NSTU) 978-5-7782-3614-1.
43. Гужов В. И. Measuring system for real-time holographic interferometry with an extended measurement range / V.I. Guzhov, **S.P. Ilinykh**, G.A. Pozdnyakov // 14 International forum on strategic technology (IFOST 2019) : (Tomsk, 14–17 Oct. 2019) Tomsk : TPU Publ. House, 2019. – P. 375–378.

*Прочие публикации* по теме диссертации:

44. **Ильиных С. П.** Траекторный анализ интерферограмм в методе фазовых шагов. Новые возможности / **С. П. Ильиных** // Автоматика и программная инженерия. – Новосибирск, – 2012. – № 2( 2) – С. 9-22.
45. Гужов В. И. Компьютерная интерферометрия : учеб. пособие / В. И. Гужов, **С.П. Ильиных**. - : Изд-во НГТУ, 2004. - 252 с.
46. Гужов В. И. Уменьшение погрешности определения фазовых разностей при анализе интерферограмм методом пошагового фазового сдвига / В.И. Гужов, **С. П. Ильиных**, Р. А. Кузнецов, Д. С. Хайдуков // Автоматика и программная инженерия. Новосибирск, – 2013. – № 2 (2). – С. 47–54.
47. Алгоритмы расшифровки интерференционных картин методом пошагового фазового сдвига. / В. И. Гужов, **С. П. Ильиных**,

- Р. А. Кузнецов, Д. С. Хайдуков // Автоматика и программная инженерия. – 2012. – № 2( 2). – С. 55 – 59.
48. Цифровая голографическая система реального времени = Digital holographic real-time system / В. И. Гужов, С. П. Ильиных, Д. С. Хайдуков, Е. С. Кабак // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. - 2014. – № 4 (78). – С. 97–112.
  49. Гужов В. И. Определение интенсивности опорного и объектного пучков при использовании метода пошагового фазового сдвига = Determination of the Intensity of the Reference and Object Beams when Using the Phase-Shift Interferometry / В. И. Гужов, С. П. Ильиных // Автоматика и программная инженерия = Automatics & Software Enginery. - 2017. - № 4 (22). - С. 68–73.
  50. Гужов В. И. Спектральный анализ формул расшифровки методом пошагового фазового сдвига = Bilinear Approximation to Increase the Size of a Numerical Sequence in Projection Methods / В. И. Гужов, С. П. Ильиных, Г. А. Поздняков // Автоматика и программная инженерия = Automatics & Software Enginery. - 2019. - № 4 (30). – С. 51–56.
  51. Ильиных С.П. Алгоритмы анализа и расшифровки интерферограмм методом пошагового фазового сдвига / С.П. Ильиных // Модельное исследование методов, алгоритмов и средств индуктивного анализа данных в приоритетных отраслях. (Аспирантура, Бакалавриат, Магистратура) : Учебное пособие. – М.: Русайнс, 2019. – 252с.
  52. Guzhov V. Distortion Compensation in Structured Lighting Systems [Electronic resource] / V. Guzhov, S. Ilinykh, E. Trubilina // 1 International Conference Problems of Informatics, Electronics, and Radio Engineering (PIERE), Novosibirsk, 10-11 Dec. 2020 г. - Novosibirsk : IEEE, 2020. - P. 277-280. - Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9314670>. - Title from screen - DOI: 10.1109/PIERE51041.2020.9314670.

**Результаты диссертационных исследований докладывались на научных конференциях, форумах:**

1. Всесоюзный симпозиум «Применение лазеров», Куйбышев, 1990г.
2. Научно-технич. конф. «Проблемы железнодорожного транспорта и транспортного строительства Сибири», 1997г.
3. 4th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. - Republic of Korea, Ulsan, 2000г.
4. Seventh International Symposium on Laser Metrology Applied to Science, Industry, and Everyday Life, 2002г.

5. VIII международная НТК "Оптические методы исследования потоков", 2005г.
6. Третья международная научно-практическая конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 2007г.
7. DST-RFBR Sponsored Indo-Russian Joint Workshop on Computational Intelligence and modern heuristics in automation and robotics, (2010, 2011).
8. Международная НПК «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий»: Качество – Безопасность – Диагностика (ИНФО – 2010, 2016, 2017),
9. The 6-th International Forum on Strategic Technologies, 2011, 2016, Международная научно-практическая конференция «Инновационные информационные технологии» (I2T), 2012, 2013, 2014, 2016г.
10. The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST-2012, 2016, International Conference on actual problem electronics instrument engineering (APEIE), 2012, 2014, 2016, 2018г.г.
11. Международная научная конференция "СибОптика-2013, 2018".
12. International summerschool computer science : proc. of summerschool, Germany, Chemnitz, 7–13 Juli 2014г.
13. V междунар. науч.-практ. конф., Махачкала, 2014г.
14. International Siberian conference on control and communications (SIBCON– 2015).
15. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства», Новосибирск, 2017, 2018г.г.
16. Интерэспо ГЕО-Сибирь–2018г.
17. Information innovative technologies: materials of the intern. sci.-practical conf., Czech Republic, Prague 2018.
18. 1 International Conference Problems of Informatics, Electronics, and Radio Engineering (PIERE), Novosibirsk, 10-11 Dec. 2020.  
Совокупный процент вклада соискателя в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 60%.

### **Общее заключение**

Диссертация соответствует требованиям, установленным в п.п. 9 - 14 Положения «О присуждении учёных степеней», утвержденного

Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям и является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертация Ильиных Сергея Петровича на соискание ученой степени доктора технических наук «Методы и алгоритмы высокоразрешающих оптико-электронных интерференционных измерительных систем с пошаговым фазовым сдвигом» рекомендуется к защите по специальности 05.11.07 – «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры Вычислительной техники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

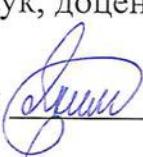
Присутствовало на заседании 28 человек, в том числе 8 докторов наук, 15 кандидатов наук.

Результаты голосования: «за» - 27 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 1 чел., протокол заседания кафедры Вычислительная техника № 4 от 09 марта 2021 г.

Председатель расширенного заседания кафедры Вычислительная техника:  
кандидат технических наук, доцент,  
декан факультета автоматики и вычислительной техники

 Иван Леонидович Рева

Кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой

Вычислительной техники  Александр Александрович Якименко

Секретарь расширенного заседания кафедры Вычислительная техника:  
кандидат технических наук, доцент,  
ученый секретарь кафедры Вычислительной техники

 Галина Васильевна Трошина

Подписи Рева И.Л., Якименко А.А. и Трошиной Г.В. заверяю.

Начальник отдела кадров ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

О.К. Пустовалова

