

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.005.02 (24.1.028.01) НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «28» января 2022 г. № 1

О присуждении Ильиных Сергею Петровичу, гражданину Российской Федерации, степени доктора технических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы высокоразрешающих оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом» по специальности 05.11.07 (2.2.6.) «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» принята к защите «22» октября 2021 г. протокол заседания № 8 диссертационным советом Д 003.005.02 (24.1.028.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1, приказ Минобрнауки России 255/нк от 28 марта 2020 года.

Соискатель Ильиных Сергей Петрович 15.08.1956 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка, исследование и применение голографических измерительных систем, основанных на методе фазовых псевдосдвигов» защитил в 1991 году в диссертационном совете, созданном на базе Новосибирского электротехнического института (НЭТИ)- (ныне НГТУ), г. Новосибирск.

Работает доцентом кафедры Вычислительной техники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», на Кафедре вычислительной техники.

Научный консультант - доктор технических наук, профессор

Гужов Владимир Иванович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», профессор Кафедры систем сбора и обработки данных.

Официальные оппоненты:

Демкин Владимир Петрович, д.ф.–м.н., профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ТГУ), г. Томск, заведующий кафедрой «Общей и экспериментальной физики».

Шандаров Станислав Михайлович, д.ф.–м.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), г. Томск, профессор кафедры «Электронных приборов».

Герасимов Сергей Иванович, д.т.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС), г. Новосибирск, заведующий кафедрой «Строительная механика».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Конструкторско-технологический институт научного приборостроения

Сибирского отделения Российской академии наук (КТИ НП), г. Новосибирск

в своем **положительном** отзыве, подписанном

Чугуем Юрием Васильевичем – д.т.н., профессор, научный руководителем КТИ НП

и утвержденном

Завьяловым Петром Сергеевичем –к.т.н., директор КТИ НП СО РАН

указала, что в диссертации на основании выполненных автором исследований представлены теоретические положения, экспериментальные исследования и схемотехнические решения по созданию оптических аппаратно-программных измерительных систем, обладающих расширенными функциональными возможностями и высокими точностными характеристиками, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в развитии цифровой оптической и голографической интерферометрии, что имеет существенное значение для лазерных измерительных систем и технологий исследования напряженно-деформированного состояния объектов, в том числе для метрологии, научных исследований и промышленного производства.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной квалификацией и опытом в области оптических и оптико-электронных измерительных систем, наличием научных публикаций по указанным направлениям, а также их профессиональной способностью оценить научную и практическую ценность результатов диссертационной работы.

Соискатель имеет **165** опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано **54** работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано **29** работ, в том числе **1** патент и **2** свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Вклад соискателя в публикации составляет 60-80% и более.

В системе РИНЦ зарегистрировано 107 публикаций с количеством цитирований 326. Индекс Хирша этих публикаций согласно РИНЦ равен 10. Все представленные в диссертации сведения об опубликованных Ильиных С.П. работах являются достоверными.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации, в которые автор внес существенный или наиболее весомый вклад:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
 4. Быстрый алгоритм синтеза высокоразрешающих растров в цифровой голографии / В. И. Гужов, С. П. Ильиных, Д. С. Хайдуков, И. О. Марченко // Науч. Вест. НГТУ. - 2017. – № 2. – С. 83–93.
 5. Квазигетеродинный метод интерференционных измерений / В.И. Гужов, С.П. Ильиных, И.А. Сажин [и др.] // Автометрия. – 2015. – № 3 (51). – С. 80–87.
 6. 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.
 7. 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.
 8. 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.).
 9. 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.
 10. 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.
 11. Робастный алгоритм расшифровки интерферограмм / С. П. Ильиных, В. И. Гужов, Н. Е. Кафидова, Д. Д. Бочаров // Автометрия. – 2005. – № 3 (41). – С. 122–125.
 12. Обобщенный алгоритм расшифровки интерферограмм с пошаговым сдвигом / В.И. Гужов, С.П. Ильиных // Автометрия. - 2002. - № 3. - С. 123–126.

13. Псеводинамический анализ интерферограмм / С.П. Ильиных // Науч. Вест. НГТУ. – 2000. – №2. С. – 100-102.
14. Голографический неразрушающий контроль композитных цилиндрических оболочек / Е. Н. Денежкин, С.П. Ильиных, В. А. Хандогин // Оптика и Спектроскопия, 1989. – № 3 (66). – С. 642–647.
15. Программно-алгоритмический комплекс для расшифровки интерферограмм / В. А. Хандогин С. П. Ильиных, С. Т. Де // Дефектоскопия. – 1989. – № 3. – С. 58–63.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- Отзыв Голышева Николая Васильевича (д.т.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет водного транспорта", г. Новосибирск, профессор Кафедры Информационных систем) содержит следующие замечания:
 - ✓ В автореферате на стр. 21 указано, что можно объективно разделить полезную и шумовую составляющие интерференционных сигналов. Непонятно, каким образом это выполняется, поскольку алгоритм такого разделения не описан.
 - ✓ Описание 5 главы (стр. 29-31) выглядит несколько декларативным.
- Отзыв Гудова Александра Михайловича (д.т.н., доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кемеровский государственный университет" (КемГУ), г. Кемерово, Институт фундаментальных наук, директор) содержит следующие замечания:
 - ✓ О каких точках идет речь при описании процесса сканирования на стр. 25?
 - ✓ Не показано, из каких условий выбираются значения модулей M_1 и M_2 в формуле (20)?
- Отзыв Дмитриевой Марии Александровны (д.ф.-м.н., профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (БФУ им. И. Канта), г. Калининград, заведующая Кафедрой строительных конструкций и материалов) содержит следующие замечания:
 - ✓ Не указано, для каких типов поверхности предназначена измерительная система (п. 3 стр. 30).

- Отзыв Пальчуна Юрия Анатольевича (д.т.н., профессор, Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений», Западно-Сибирский филиал (ЗСФ ФГУП "ВНИИФТРИ"), г. Новосибирск, ведущий научный сотрудник) содержит следующие замечания:
 - ✓ Для снижения времени измерений автором применялись графические ускорители (п. 4 с. 31). По какой технологии выполнялись параллельные вычисления?
 - ✓ Какова эффективность подавления шума при усреднении фаз в сравнении с методом усреднения интенсивностей (п. 5 с.25, 32).
- Отзыв Струнина Владимира Ивановича (д.ф.-м.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского» (ОмГУ им. Ф.М. Достоевского), г. Омск, заведующий Кафедрой экспериментальной физики и радиофизики),

Замечаний нет, высказано пожелание – «...необходимо обращать внимание не только на достоинства, но и обсуждать выявленные ограничения основополагающих методов и следующих из них алгоритмов».
- Отзыв Якунина Алексея Григорьевича (д.т.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, заведующий Кафедрой «Информатика, вычислительная техника и информационная безопасность») содержит следующие замечания:
 - ✓ Не все формулировки в пунктах научной новизны содержат отличительные признаки, а ограничиваются результативной частью. Отличительная же часть вынесена в положения на защиту.
 - ✓ Пункт 3 практической значимости к ней отношения не имеет.
 - ✓ Хотя в диссертации предложено множество алгоритмических технических решений, в списке публикаций имеется только один патент на полезную модель и всего лишь два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.
 - ✓ В автореферате в пятом разделе приводится большое число решенных автором научно-прикладных задач, том числе решенных в рамках НИР, выполненных по

грантам РФФИ, но отсутствует информация о практических внедренных разработках в каких-либо организациях и предприятиях.

✓ Имеются замечания по оформлению.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная концепция анализа многомерных интерференционных сигналов, позволяющая повысить точность фазовых измерений с расширением границ применимости полученных результатов.

Предложен обобщенный метод расшифровки интерференционных картин. Показано, что существующие методы расшифровки являются следствием обобщенного метода. Это позволяет с единых позиций производить анализ методов расшифровки получаемых методами Фурье, МНК и т.д.

Предложен, обоснован и реализован устойчивый к случайным шумам и систематическим погрешностям многочастотный метод измерения абсолютной оптической разности интерферирующих волновых фронтов, позволяющий значительно расширить динамический диапазон измерений.

Предложен, обоснован и реализован метод усреднения фаз, не требующий регистрации дополнительных интерференционных картин и позволяющий значительно сократить время измерений, что важно при исследовании динамических объектов.

Предложен, обоснован и реализован метод повышения пространственного разрешения цифровых голограмм. Достигнутое пространственное разрешение 1000-2000 линий/мм сопоставимо с разрешением аналоговых голограмм, получаемых фотографическим способом.

Впервые показана возможность измерения профиля крупногабаритных объектов с линейными размерами до 5 метров с микрометровой точностью.

Предложен, обоснован и реализован метод обеспечения основного условия расшифровки интерференционных картин, получаемых в оптико-электронных системах с пошаговым фазовым сдвигом – постоянства амплитуды и средней интенсивности в измеряемой точке интерференционной картины при внесении фазовых сдвигов.

Предложен, обоснован и реализован новый подход к расшифровке интерференционных картин методом управляемого фазового сдвига, позволяющий выполнять расшифровку с неизвестными случайными фазовыми сдвигами.

Доказано наличие закономерностей характеристик, описываемых формулами расшифровки по серии интерференционных картин с различными фазовыми сдвигами, позволяющие компенсировать нелинейность устройств ввода оптической информации. Отклонение траектории многомерного измеряемого сигнала от базовой эллиптической траектории позволяет определить структуру и причины процессов, приводящих к искажению интерференционных сигналов.

Впервые показана возможность измерения профиля крупногабаритных объектов с линейными размерами до 5 метров с микрометровой точностью.

Введено

новое понятие – качество интерференционных картин, получаемых методом фазовых шагов.

Обоснованы и экспериментально подтверждены критерии оценки качества интерференционных картин.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказаны преимущества обобщенного метода расшифровки интерференционных картин, получаемых в оптико-электронных системах с пошаговым фазовым сдвигом и предложенных методик измерения искажений оптических волновых фронтов, вносящих вклад в расширение представлений об изучаемом явлении и расширяющих границы применимости полученных результатов на смежные области радио- и СВЧ диапазонов фазовых измерений.

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс существующих базовых методов исследования оптических волновых фронтов, в том числе численных методов, экспериментальных методик их анализа.

Изложены этапы анализа оптической информации в оптико-электронных системах с пошаговым фазовым сдвигом. Определены способы оценки погрешностей измерений, учитывающие структуру формул расшифровки.

проведена модернизация алгоритмов и численных методов анализа оптической информации многочастотных интерференционных сигналов, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработаны и внедрены в практическую деятельность методы и алгоритмы анализа формы волнового фронта оптического излучения, востребованные в различных отраслях промышленности. Продемонстрированы широкие возможности разработанных систем и технологий для решения конкретных практических задач исследования напряженного-деформированного состояния объектов в метрологии и голографической интерферометрии.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ:

- Разработанные установки эксплуатируются в различных научно-технических организациях. Эффективность их применения в совокупности с разработанными технологиями подтверждена актами внедрения от ФГУП СибНИА им. С.А. Чаплыгина, компании «Бриз», входящей в ассоциацию «Национальная Платформа Промышленной Автоматизации», и НПО «РИМ» – одного из крупнейших в России производителей комплексных автоматизированных информационно-измерительных систем.
- Исследование методов и алгоритмов расшифровки интерференционных картин, получаемых оптико-электронными системами с пошаговым фазовым сдвигом, выполнялись в соответствии с ГОСТ Р 8.883-2015 «Программное обеспечение средств измерений. Алгоритмы обработки, хранения, защиты и передачи измерительной информации. Методы испытаний».

Теория и численные методы построены на скалярной теории дифракции и применении известной модели, представляющей процесс формирования разности волновых фронтов на основе уравнениям интерференции с переменными параметрами. **установлена** достоверность численных расчетов, подтверждаемая тем, что в части оценки параметров различных методов анализа многомерных интерференционных измерительных сигналов результаты автора качественно и количественно согласуются с результатами известных работ, представленных в независимых источниках.

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, основанные, в том числе, на применении полученных в диссертации методов и алгоритмов.

Осуществлен подбор объектов измерения, позволяющий объективно оценить характеристики разработанных средств, методов и алгоритмов измерения параметров и характеристик объектов для различных областей науки и техники.

Личный вклад соискателя состоит в:

основополагающем участии на всех этапах процесса разработки методов, алгоритмов анализа интерферометрической информации и реализующих их оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом, получении исходных данных и проведении научных экспериментов, личном участии в апробации результатов исследования, непосредственном участии соискателя в разработке оптико-электронных систем с пошаговым фазовым сдвигом и их ключевых оптических подсистем, выполненной лично автором или при его участии в обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания

1. В презентации не отражена 5 глава диссертации.
2. Защищаемые положения 2 и 4 в автореферате и в презентации совпадают по смыслу но отличаются по тексту.
3. В докладе и автореферате отсутствует анализ текущего состояния проблемы и существующих альтернативных подходов.
4. В разделе "Научная новизна" не сформулирована суть результатов.
5. Названия результатов в разделах "Задачи", "Научная новизна", в докладе не согласуются.
6. Используются термины, значения которых не расшифровываются, что не позволяет вполне понять суть полученных результатов.
7. Создается впечатление, что в изложении материала иногда опускается важная информация, часть материалов излагается непоследовательно.

Соискатель **Ильиных Сергей Петрович** частично согласился с замечаниями и ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 28 января 2022 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные методы и алгоритмы использования высокоразрешающих оптико-электронных систем, примененные при выполнении ряда НИР, и которые могут быть расширены на другие области науки и перспективных технологий, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, присудить **Ильиных Сергею Петровичу** ученую степень доктора технических наук по специальности 05.11.07 (2.2.6.) «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.11.07 (2.2.6.) «Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы» (техн. науки), участвовавших в заседании (очно 13, дистанционно 11), из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против 4, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

академик РАН



Шалагин Анатолий Михайлович

Ученый секретарь диссертационного совета

д. ф.-м. н.

Ильичев Леонид Вениаминович

«31» января 2022 г.