

Министерство высшего и среднего специального образования  
Р С Ф С Р

Новосибирский электротехнический институт

На правах рукописи  
УДК: 535.41.001.5.:511

Гужов Владимир Иванович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКИХ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗОВЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ

Специальность 05.11.16 - информационно-измерительные  
системы

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

*Президент специализированного  
совета К У 6 3 . 3 4 . 0 3  
Новосибирск* *А. Г. Козачук*

*Член специализированного  
совета К У 6 3 . 3 4 . 0 3* *В. В. Бубарев*

Работа выполнена в Новосибирском электротехническом институте.

- Научный руководитель - кандидат технических наук,  
профессор А.Г. Козачок.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук  
А.Н. Серьезнов,  
кандидат технических наук  
И.С. Гибин.
- Ведущая организация - Институт автоматики и электро-  
метрии СО АН СССР.

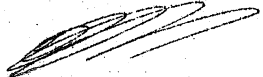
Защита диссертации состоится *24 декабря* 1987 го-  
да в *14* часов на заседании специализированного Совета  
К 063.34.03 в Новосибирском электротехническом институте.

630092, г. Новосибирск, 92, пр. К. Маркса, 20, НЭТИ,  
специализированный Совет К 063.34.03.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ин-  
ститута.

Автореферат разослан *20* | *ноября* 1987 года.

Ученый секретарь специализированного  
Совета, кандидат технических наук



В.В. Губарев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.** Потребности ряда ведущих направлений науки и отраслей техники: теории прочности, аэродинамики, точного машиностроения, оптического приборостроения приводят к необходимости создания информационно-измерительных систем (ИИС) с высокими метрологическими характеристиками. Интерференционные методы обеспечивают высокую точность измерений, но традиционные способы анализа интерферограмм достаточно трудоемки и не позволяют реализовать потенциальные возможности этих методов. Расшифровка интерферограмм связана с обработкой большого количества информации, поэтому естественно применение для этой цели ЭВМ. Обычно ЭВМ в интерференционных измерительных системах выполняет функции сбора и обработки информации. Использование еще одной функции — управления, привело к созданию новых методов расшифровки, основанных на внесении управляющих воздействий в схему интерферометра. Метод определения разности фаз интерферирующих фронтов по серии интерференционных картин, полученных при различных значениях фазового сдвига наилучшим образом удовлетворяет требованиям к точности измерений, обеспечивает полностью автоматический режим работы и достаточно прост в реализации.

Учитывая указанные свойства метода и был выполнен цикл работ, направленных на исследование, совершенствование и создание на его основе автоматизированных когерентно-оптических измерительных систем.

**РАБОТА ВЫПОЛНЕНА** с 1980 по 1987 год в Лаборатории автоматизации экспериментальных исследований Новосибирского электротехнического института в соответствии с "Координационным планом АН СССР проведения научно-исследовательских работ" по проблемам "Измерительные процессы и системы" и "Оптика. Квантовая электроника", утвержденных Президиумом АН СССР.

**ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Целью диссертации является исследование и совершенствование методов интерференционных изме -

рений при внесении управляющих воздействий в схему оптической установки и разработке на этой основе измерительных систем, обладающих улучшенными метрологическими характеристиками. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать метрологические характеристики систем с управляемым сдвигом, выявить основные источники погрешности при определении поля разности фаз и разработать методы уменьшения их влияния;
- разработать способ удаления фазовой неоднозначности, независимый от пространственной структуры полей фаз;
- разработать общую структуру системы и набор аппаратных средств, реализующих отдельные функции;
- разработать программное обеспечение системы;
- исследовать эффективность системы путем решения конкретных экспериментальных задач.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** При выполнении диссертационной работы использовались методы теории чисел, методы когерентной оптики, общие принципы разработки и исследования измерительно-вычислительных систем, методы математической статистики и методы моделирования.

#### **НАУЧНАЯ НОВИЗНА:**

- выполнен теоретический анализ и экспериментальная проверка метрологических характеристик метода определения поля разности фаз на основе управляемого фазового сдвига;
- в задачах расшифровки интерферограмм впервые применен аппарат теории чисел, что позволило разработать локальный метод удаления фазовой неоднозначности, защищенный по заявке 4087285/24;
- исследовано влияние первичных погрешностей измерения интенсивности и задания фазового сдвига на точность определения полной фазы;
- реализована и исследована интерференционная измерительная система для анализа фазовых характеристик оптических

ких волновых фронтов и ее программное обеспечение.

#### ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ.

- Получены оценки предельных значений метрологических характеристик при определении полей разностей фаз методом внесения управляемого сдвига, что позволило использовать метод при высокоточных измерениях.

- Разработанный способ определения полной фазы позволяет реализовать полностью автоматический режим обработки и на порядок расширить диапазон измерений при определении фазовых характеристик волновых полей.

- Эффективность использования разработанной системы для высокоточных измерений полей фазовых разностей подтверждена при исследовании широкого круга экспериментальных задач. Экономический эффект от внедрения системы при контроле рельефа высокоточных оптических поверхностей на ПО "Новосибирский приборостроительный завод" - 62 тыс.руб.

- Разработанные методы измерений и контроля использованы при выполнении НИР по заказам ЛАЭИ-1-86/А (ГР номер 01860038058), ЛАЭИ-3-86/А (ГР номер У28465), ЛАЭИ-1-87/А/1448/II (ГР номер У42700).

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

- принципы построения автоматизированных локальных систем для однозначного измерения полей разности фаз;

- локальный способ удаления фазовой неоднозначности, основанный на решении систем сравнений целых чисел;

- способ устранения грубых промахов при удалении фазовой неоднозначности;

- соотношения, позволяющие оценить погрешность определения разности фаз методами управляемого фазового сдвига;

- аппаратная реализация и программное обеспечение системы измерения полей разности фаз.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты работы докладывались на 8 Всесоюзной конференции по теории кодирования и передаче информации (Куйбышев, 1981 г.); на 6 Всесоюзной конференции "Автоматизация научных исследований на основе примене-

ния ЭВМ" (Новосибирск, 1981 г.); на 16 Всесоюзной школе по автоматизации научных исследований (Горький, 1982 г.); на 19 Всесоюзной школе по автоматизации научных исследований (Новосибирск, 1985 г.); на научно-техническом семинаре "Интерференционно-оптические методы механики твердого тела и механики горных пород" (Новосибирск, 1985 г.); на Всесоюзной научно-технической конференции "Микропроцессорные системы автоматизации технологических процессов" (Новосибирск, 1987 г.).

По результатам диссертации опубликовано 12 печатных работ.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Работа изложена на 117 страницах машинописного текста, содержит 3 таблицы, 32 рисунка. Список литературы включает 135 наименований. В Приложении приведены описания программ и акты внедрения.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ обоснована актуальность выбранной темы, определены цель и задачи исследования, приведено краткое содержание работы, сформулированы выносимые на защиту положения.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ приведена классификация методов определения фазовых характеристик оптических волновых полей, рассматривается структура известных алгоритмов, анализируются примеры построения автоматизированных интерференционных измерительных систем по материалам отечественной и зарубежной литературы. На основании этих данных сформулированы основные теоретические и экспериментальные задачи, направленные на исследование и совершенствование методов определения полей разности фаз интерферирующих волновых фронтов, а также на разработку и создание измерительных систем на основе этих методов.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ исследуется предложенный способ восстановления полной фазы по набору фаз, определенных в пределах периода, полученных при различных ценах интерференционных полос. Метод основан на известном в теории чисел способе решений

системы сравнений первой степени. Общий вид системы уравнений с одним неизвестным, но с разными и притом попарно простыми модулями:

$$x \equiv b_i \pmod{m_i} \quad (1)$$

Совокупность значений, удовлетворяющих этой системе, определяется сравнением

$$x \equiv x_0 \pmod{m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_k}, \quad (2)$$

где

$$x_0 = M_1 M_1' b_1 + M_2 M_2' b_2 + \dots + M_k M_k' b_k, \quad (3)$$

а числа  $M_s$  и  $M_s'$  определены из условий:

$$m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_k = M_s m_s, \quad M_s M_s' \equiv 1 \pmod{m_s}. \quad (4)$$

Диапазон, при котором решение единственно определяется произведением, —  $m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_k$ . На рис. I графически представлено решение системы (I) для случая  $m_1 = 4, m_2 = 5$ .

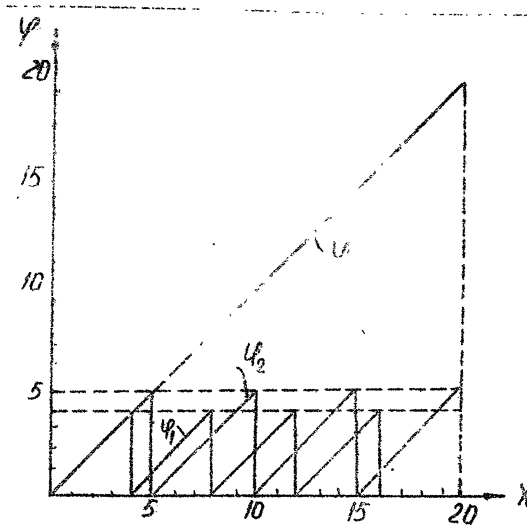


Рис. I. Решение системы сравнений.

Для перехода от анализа вещественных к анализу целых чисел каждому вещественному ставится в соответствие целое с количеством цифр, определяемым точностью, с которой задано вещественное число. В этом случае по нескольким сериям измерений<sup>6</sup>, в результате которых находится разность фаз в пределах периода, можно однозначно определить полную фазу, если целые числа, соответствующие периодам, будут взаимно простыми. При интерференционных измерениях период изменения восстановленной фазы пропорционален цене полосы. Цена полосы интерферограммы может меняться или при изменении длины волны источника освещения, или при изменении геометрии оптической установки, или при изменении коэффициента преломления среды.

Полный динамический диапазон метода определяется диапазоном, при котором решение системы сравнений единственно. При добавлении каждого нового сравнения диапазон увеличивается пропорционально значению модуля и количеству значащих цифр, используемых при вычислениях.

При восстановлении полной фазы в пределах полного динамического диапазона возникает значительная погрешность, зависящая от погрешности определения фазы в пределах периода.

Исследованы способы снижения требований к точности определения фаз в пределах периода. Показано, что при ограничении полного диапазона возникает окрестность грубых промахов, в которую не могут попадать значения полных фаз, меньших заданных значений. При попадании в эту окрестность полная фаза корректируется к ближайшему удовлетворяющему условию значению. Таким образом, при искусственном ограничении диапазона измерений требования к точности определения исходных фаз значительно снижаются. Разработана методика подбора модулей, при которых окрестность грубых сбоев максимальна.

Процесс оптимального выбора параметров для достижения желаемого диапазона представляет собой минимаксную задачу. Зная погрешность, с которой определяется фаза в пределах периода и при заданном числе сравнений, подбирают значения модулей, при которых окрестность грубых сбоев по крайней мере больше разброса ошибочных значений. Если физически невозможно реализовать систему с требуемыми значениями модулей, необходимо увеличить число сравнений.



В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ описан реализованный вариант интерференционной измерительной системы. Основными элементами системы являются: оптическая установка, устройство внесения управляемого фазового сдвига, устройство ввода интерференционных картин в ЭВМ и микропроцессорная система для управления устройствами, расшифровки информации по заданным алгоритмам и выдачи информации в удобном для пользователя виде (рис. 2). Рассмотрены различные варианты устройств внесения фазового сдвига и ввода оптической информации. Использование в качестве интерфейса стан-дарта КАМАК позволило достичь универсальности системы при реализации различных алгоритмов расшифровки.

Разработан комплекс программ, позволяющий в зависимости от целевого назначения эксперимента проводить расшифровку интерферограмм методом выделения средин полос, определять поле фаз с помощью управляемого фазового сдвига и устранять фазовую неоднозначность. Выходные поля разности фаз имеют унифицированный формат, что позволяет использовать существующие пакеты программ для геометрического и дифракционного анализа.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ проведен анализ метрологических характеристик систем с управляемым фазовым сдвигом. При условии, что погрешности достаточно малы для того, чтобы можно было пользоваться линейными оценками, т.е. пренебрегать произведениями и степенями погрешностей выше первого порядка, получены выражения для оценок абсолютной и относительной погрешностей:

$$\Delta \Phi \approx \sum_{k=1}^N \left| \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi_k} \right| (\pm \Delta \varphi_k) + \sum_{k=1}^N \left| \frac{\partial \Phi}{\partial I_k} \right| (\pm \Delta I_k), \quad (5)$$

$$\delta \Phi \approx \sum_{k=1}^N \left| \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi_k} \varphi_k \right| (\pm \delta \varphi_k) + \sum_{k=1}^N \left| \frac{\partial \Phi}{\partial I_k} I_k \right| (\pm \delta I_k), \quad (6)$$

$$\text{где } \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi_k} = \frac{I_k \cdot \cos \varphi_k \cdot \sum_{n=1}^N I_n \cos \varphi_n + I_k \sin \varphi_k \cdot \sum_{n=1}^N I_n \sin \varphi_n}{\left( \sum_{n=1}^N I_n \sin \varphi_n \right)^2 + \left( \sum_{n=1}^N I_n \cos \varphi_n \right)^2}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial I_k} = \frac{\sin \varphi_k \cdot \sum_{n=1}^N I_n \cos \varphi_n + \cos \varphi_k \cdot \sum_{n=1}^N I_n \sin \varphi_n}{\left( \sum_{n=1}^N I_n \sin \varphi_n \right)^2 + \left( \sum_{n=1}^N I_n \cos \varphi_n \right)^2} \quad (8)$$

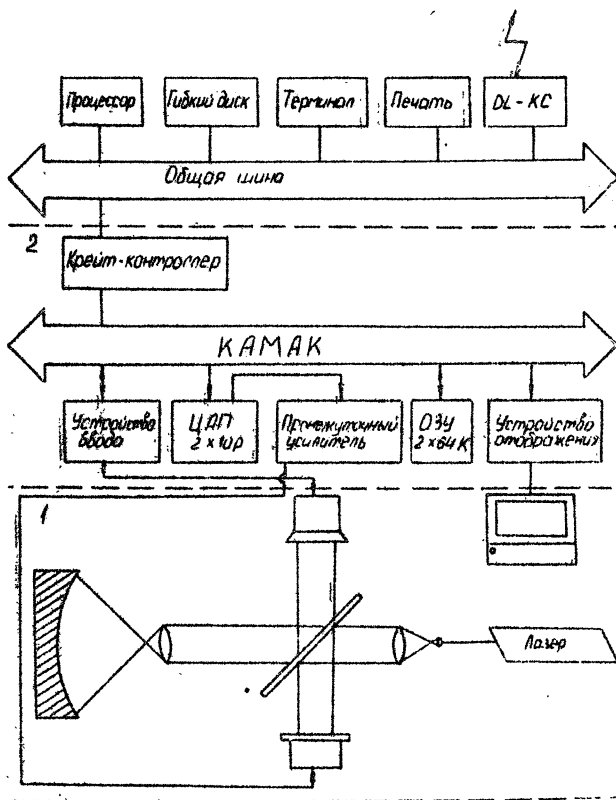


Рис. 2. Структура когерентно-оптической измерительной системы.

Результирующая погрешность определения фазы зависит от первичных погрешностей при установке фазы и при измерении интенсивности. Наиболее значимыми являются фазовые погрешности. Исследовано влияние случайных погрешностей при установке фазового сдвига, влияние погрешностей, вызванных паразитными волновыми фронтами, влияние спекл-шума, а также погрешностей, вызванных конечным числом уровней квантования при измерении интенсивности. Предложены способы снижения влияния этих видов погрешностей.

При некоррелированных случайных ошибках установки фазы погрешность может быть уменьшена использованием алгоритмов восстановления фазы с большим числом сдвигов или усреднением фаз, определенных при нескольких сериях измерений. Если присутствует эффект влияния слабой нелинейности, то погрешность определения фазы значительно уменьшается усреднением фаз, определенных по нескольким сериям наблюдений, сдвинутым на  $\pi/2$  относительно друг друга. При использовании одиночных серий наблюдений необходимо проводить точную калибровку фазового сдвига.

Для компенсации погрешностей, вызванных паразитными волновыми фронтами, необходимо провести две серии измерений, во второй из которых вносится фазовый сдвиг, равный  $\pi$ . Если сдвиг фаз не позиционно зависим, возможна полная компенсация.

Показано, что погрешности, вызванные влиянием спекл-шума, имеют характер грубых промахов и достаточно эффективно удаляются математическими методами фильтрации.

Исследовано влияние погрешностей, вызванных конечным числом уровней квантования при измерении интенсивности. Показано, что для определения фазы с погрешностью 1-2 % при полном использовании динамического диапазона достаточно шести-восьми уровней квантования. Неполное использование динамического диапазона оказывает то же влияние, что и уменьшение числа уровней квантования. Предложен метод оценки влияния неполного использования динамического диапазона при расшифровке реальных интерференционных картин.

Разработан метод калибровки фазового модулятора, обеспечивающий погрешность установки фазы менее 1 %.

Предложенные способы снижения уровня первичных погрешностей позволяют определять поле разности фаз методом внесения

управляемого фазового сдвига с погрешностью 1-2 % от цены по - лосы.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ приведены результаты экспериментального исследования разработанной когерентно-оптической измерительной системы путем решения ряда конкретных задач. Были выбраны задачи, при решении которых наиболее полно используются возможно - сти системы.

Проводился анализ полей деформаций при расшифровке интер - ферограмм, полученных с помощью накладного голографического ин - терферометра. Для исследования степени достоверности полученных результатов решалась задача о распределении напряжений в плас - тине с круговым отверстием при известных растягивающих усилиях (задача Кирша), которая имеет теоретическое решение. Сопостав - ление экспериментально полученных полей деформаций с известны - ми теоретическими позволило сделать вывод о возможности опреде - ления напряженно-деформированного состояния образцов с допусти - мой для инженерных расчетов точностью.

Проводилось измерение прогиба мембран методом голографиче - ской интерферометрии в реальном времени для диффузно отражаю - щих поверхностей и с помощью обычных оптических интерферомет - ров для зеркально отражающих поверхностей. Поле разности фаз - пропорциональное рельефу поверхности, определялось методом уп - равляемого фазового сдвига. Изучалась зависимость прогибов кремниевых мембран, применяемых в полупроводниковых интеграль - ных тензопреобразователях, от приложенных давлений. Распреде - ление прогиба по полю указало на возможность нетрадиционного расположения тензорезисторов.

Для измерения плоскостности оптических поверхностей при - менялся модифицированный серийный интерферометр ИТ-200, опти - ческая схема которого представляет собой интерферометр Физо. Вместо устройства для фоторегистрации было установлено устрой - ство ввода на основе телевизионной камеры КТ-М. Расшифровка интерференционных картин осуществлялась методом выделения се - редин полос. Простая геометрия полос позволила реализовать полностью автоматический режим обработки.

Для определения формы высокоточных сферических поверхно - стей использовался метод управляемого фазового сдвига. Для по - лучения интерферограмм применялся интерферометр Гваймана-Гри -

на, в опорное плечо которого было установлено зеркало, закрепленное на пьезокерамике. Для исследования точностных характеристик производилось измерение формы поверхности пробных стержней, которые применяются для контроля оптических изделий в процессе их изготовления.

Экспериментальное исследование интерференционной измерительной системы показало:

- система может применяться для расшифровки интерферограмм, полученных при использовании различных типов оптических и голографических интерферометров;

- расшифровка интерферограмм методом выделения середин полос не требует дополнительной модификации используемых интерферометров, однако в этом случае применяется интерактивный режим обработки; точность определения полей фаз не превышает  $0,1$  полосы;

- при использовании управляемого фазового сдвига необходимо предусмотреть размещение фазовых модуляторов в оптической схеме, при этом процесс измерения становится полностью автоматическим, предельно достижимая точность может превышать  $0,02$  от цены полосы;

- применение системы в производственных условиях показало необходимость оптимизации аппаратных и программных средств при контроле конкретных видов изделий, однако уже реализованный вариант показал экономическую эффективность при определении форм рельефа высокоточных оптических поверхностей.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. В результате анализа существующих методов и разработанных на их основе автоматизированных систем для расшифровки интерферограмм показано, что для определения полей разности фаз оптических волновых фронтов наиболее эффективными являются методы, основанные на интерференционных принципах. Широко используемые системы, основанные на выделении середин полос без участия оператора не позволяют устранить неоднозначность определения фазы, обладают невысокой точностью. Системы с управляемым фазовым сдвигом обеспечивают высокую точность при определении разности фаз в пределах периода, однако существующие алгоритмы

восстановления полной фазы используют информацию о пространственной структуре и поэтому накладывают дополнительные ограничения на исследуемые волновые фронты, имеют небольшой динамический диапазон.

2. Предложен локальный способ удаления фазовой неоднозначности, позволяющий значительно расширить динамический диапазон измерений. Способ основан на решении системы сравнений целых чисел и способен по нескольким сериям измерений, произведенных при различных ценах интерференционных полос, определить полную фазу в каждой точке поля. Результирующий алгоритм прост, легко автоматизируется.

3. Разработана интерференционная измерительная система, включающая интерферометр с устройством управления фазовым сдвигом, устройство ввода оптических изображений, микроЭВМ с набором периферийных устройств, специализированные устройства отображения полутоновой информации и программное обеспечение.

4. Разработано программное обеспечение автоматизированных систем для расшифровки интерферограмм, позволяющее в зависимости от целевого назначения эксперимента работать в трех режимах: без внесения фазового сдвига; с внесением фазового сдвига и удалением фазовой неоднозначности методом развертки фаз; с внесением фазового сдвига и удалением фазовой неоднозначности локальным способом, основанным на решении системы сравнений целых чисел. Комплекс программ обеспечивает функционирование системы в качестве автономного рабочего места и обеспечивает доступ к архивам центральной ЭВМ по линии связи.

5. Проведен анализ источников погрешностей, в результате которого установлено, что основными источниками погрешностей являются погрешности установки сдвига фазы и погрешности при измерении интенсивности.

Предложены методы снижения результирующей погрешности определения полной фазы. При некоррелированной случайной погрешности установки фазы необходимо применять алгоритмы расшифровки с большим числом сдвигов или производить усреднение по нескольким сериям наблюдений. При случайной погрешности установки фазы со слабой нелинейностью надо использовать усреднение фаз, определенных по нескольким сериям наблюдений, сдвинутым на  $\pi/2$ . Для компенсации ошибок, вызванных паразитными волно-

выми фронтами, необходимо произвести две серии измерений со сдвигом  $\lambda$ .

Исследовано влияние погрешностей, вызванных конечным числом уровней квантования при измерении интенсивности. Показано, что для определения фазы с погрешностью 1-2 % достаточно шести-восьми разрядов уровней квантования. Для компенсации погрешности установки фазового сдвига разработана методика калибровки фазовых модуляторов.

Предложенные способы снижения уровней погрешности позволяют определять разность фаз с погрешностью 1-2 % от цены посылы.

6. Эффективность системы подтверждена при исследовании напряженно-деформированного состояния объектов и измерении формы высокоточных поверхностей. Использование системы для определения фазовых характеристик сферических волновых фронтов позволило сформулировать конкретные рекомендации при построении интерференционных измерительных систем для автоматического контроля формы поверхности пробных стекол с диаметром до 150 мм. При дискретизации исследуемого поля 256x256 элементов время расшивки менее 1 мин.

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Гурьев Л.П., Гужов В.И., Де С.Т. и др. Универсальная измерительно-вычислительная система для обработки голографических изображений // Материалы 6 Всесоюзной конференции Автоматизации научных исследований на основе применения ЭВМ. - Новосибирск: ИАЗ СОАН СССР, 1981. - С. 122-123.

2. Гужов В.И., Дружинин А.И. Программно-аппаратный комплекс сопряжения устройства микрофильмирования КАРАТ с ЭВМ в голографической измерительной системе // Голографические измерительные системы. Вып. 3. - Новосибирск: НЭТИ, 1980. - С. 93-100.

3. Гужов В.И., Дружинин А.И., Козачок А.Г., Логинов А.В. Измерительно-вычислительная система для анализа напряженно-деформированного состояния объектов // Автометрия, 1982. - № 4. - С. 102-103.

4. Гужов В.И., Дружинин А.И., Козачок А.Г. и др. Некоторые вопросы использования мини- и микроЭВМ в системах автоматизации обработки когерентно-оптической информации // Автома

тизация научных исследований. Материалы 16 Всесоюзной школы по автоматизации научных исследований. - Горький, 1982. - С. 43 - 46.

5. Гужов В.И., Ким В.Ф., Родионов В.А. Цифровое моделирование оптических систем для фазометрии // Системы автоматизации обработки оптической информации. - Новосибирск: НЭТИ, 1984. - С. 112-121.

6. Герасимов С.И., Гужов В.И., Жилкин В.А., Козачок А.Г. Автоматизация обработки интерференционных картин при исследовании полей деформаций // Заводская лаборатория. - 1985. - № 4. - С. 77-80.

7. Гужов В.И., Тимшин А.В., Цигуткин В.И. Специфика цифровой обработки голографических интерферограмм в системах с управляемым фазовым сдвигом // Автоматизация научных исследований. Тез. докладов XIX Всесоюзной школы. - Новосибирск: ИАЭ СОАН СССР, 1985. - С. 169.

8. Гужов В.И., Тимшин А.В. Устранение фазовой неопределенности при расшифровке голографических интерферограмм // Интерференционно-оптические методы механики твердого тела и механики горных пород. Тез. семинара. - Новосибирск, 1985. - С. 141.

9. Гужов В.И., Лопарев Е.Г., Солодкин Ю.Н. Автоматизация получения, обработки и расшифровки спекл-интерферограмм // Интерференционно-оптические методы механики твердого тела и механики горных пород. Тез. семинара. - Новосибирск, 1985. - С. 142.

10. Гужов В.И., Козачок А.Г., Жилкин В.А., Герасимов С.И. Автоматизация обработки оптической информации, получаемой с использованием голографических накладных интерферометров // Тез. докладов Пятой Всесоюзной конф. по голографии. Ч. 2. - Рига, 1985. - С. 321-322.

11. Гужов В.И., Козачок А.Г., Лопарев Е.Г. и др. Голографическая измерительная система для определения поля разности фаз методом контролируемого фазового сдвига // Автометрия. - 1986. - № 2. - С. 116-118.

12. Гужов В.И., Орлов М.Г. Распределенная микропроцессорная система для обработки изображений // Микропроцессорные системы автоматизации технологических процессов. Тез. докладов Всесоюзной конф. - Новосибирск: СОАН СССР, 1987. - С. 126.

13. Заявка на изобретение 4087285/24-28(110851) СССР. Способ определения разности фаз / В.И. Гужов, Ю.Н. Солодкин. - Решение о выдаче а.с. от 29.01.87.



---

Подписано в печать 17 ноября 1987г. МН 15087 Формат 84x60к1/16  
Бумага оберточная. Тираж 100 экз. Уч.-изд.л. 1,0  
Заказ № 842 Бесплатно.

---

Отпечатано на участке оперативной полиграфии  
Новосибирского электротехнического института  
630092. г.Новосибирск, пр.К.Маркса,20