

М 498399
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
государственный технический университет имени Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

Шаньгин Олег Сергеевич

КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ФОРМЫ ОПТИЧЕСКИХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

05.11.07 - Оптические приборы

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1991

- Работа выполнена в — НИИ НПО "Луч", Московская область, г. Подольск
- Научный руководитель — доктор технических наук, профессор Пуряев Д.Т. МГТУ, г. Москва
- Официальные оппоненты: — доктор технических наук, профессор Масагин Г.М. МГТУ, г. Москва
- кандидат технических наук Поспехов В.Г. НПО "Оптика", г. Москва
- Ведущая организация — ПО "Рубин", г. Лыткарино, Московской области

Защита состоится "5" Виссере 1991 г. в 11 часов на заседании специализированного совета К 053.15.02 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул. д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного технического университета.

Автореферат разослан "1" _____

Ваши отзывы на автореферат и предложения по его улучшению просим направлять по адресу: _____

Ученый секретарь специализированного совета кандидат технических наук _____

Подписано к печати 14.02.91
Тир. 100 экз. Ротапринт М

М 498399

Актуальность. Научно-технический прогресс в области астрономии, космонавтики, лазерной техники и их практических приложений в народном хозяйстве поставил перед оптиками новые и сложные задачи. Существенно изменился характер разрабатываемых оптических систем. Значительно возросли габариты оптических деталей, шире стали применяться детали с несферическими поверхностями. Доля единичного и мелкосерийного производства возросла до 70%. Это обстоятельство явилось причиной увеличения продолжительности и стоимости подготовки производства, главным образом при создании специальных измерительных средств.

Вопрос контроля формы оптических поверхностей является одним из главных в оптическом производстве, а все методы исследования и контроля сводятся практически к регистрации структуры волнового фронта, сформированной оптической схемой контроля, и анализу его визуализированного изображения в виде интерференционных полос, тени или светящейся точки [1].

Структура волнового фронта, обусловленная качеством исследуемой системы, является функцией пространственных координат на зрачке, зависящей (при наличии хроматизма) от длины волны излучения и времени (при наличии вибрации). Для регистрации такого многомерного сообщения на носителе, имеющем меньшее число измерений по сравнению с самим сообщением, приходится дискретизировать аргументы сообщения (при этом само сообщение преобразуется в более простое, с меньшим числом измерений) и, следовательно, автоматизировать расшифровку и математическую обработку результатов, что требует соответствующего математического аппарата вычисления характеристик качества оптических систем и программ для микроЭВМ по расчету и представлению результатов контроля в наглядной и однозначной форме [18]. В этой связи разработка и исследование новых методов и средств контроля формы оптических поверхностей взаимосвязаны и требуют одновременной проработки оптических, оптико-электронных, электронных и математических вопросов (как сделано, например, в работе [18]), а работающие в производственных условиях и максимально приближенных к реальному времени с исключением влияния вибрации, представляют собой актуальную задачу оптического приборостроения.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1498399

Шаньгин О.С. Комплексные ме



Ц е л ь р а б о т ы заключается в комплексной разработке и исследовании согласованных методов и аппаратных средств, предназначенных для автоматизированного контроля формы оптических поверхностей в производственных условиях.

Для достижения этой цели обобщены известные методы и средства контроля формы оптических поверхностей, проведен их критический анализ с точки зрения увеличения точности, виброустойчивости и быстродействия. Затем были поставлены нижеследующие з а д а ч и и найдены их оптимальные решения, обеспечивающие автоматизированный интерферометрический контроль формы оптических поверхностей в производственных условиях :

1) оптические – по формированию интерференционного поля от контролируемой поверхности с исключением влияния вибрации и согласованию с фотоэлектрическим приемником включая аналоговую оптическую обработку;

2) оптико-электронные – по преобразованию светового интерференционного поля в видеоизображения и оптико-электронной обработке в реальном времени;

3) электронные – по квантованию, дискретизации и запоминанию видеоизображений в буферном быстродействующем запоминающем устройстве, согласованию с выбранным типом микроЭВМ, а также формированию и стабилизации монохроматического лазерного излучения;

4) программные – по управлению регистрацией, преобразованию и анализу оптической информации о контролируемой поверхности для вычисления характеристик ее качества и представления результатов контроля в наглядной и однозначной форме;

5) на основании решения вышеизложенных задач создать действующий макет виброустойчивого интерферометра с автоматизированной обработкой данных.

М е т о д ы и с с л е д о в а н и й. Теоретический анализ предложенных методов проводился на основе математического моделирования на микроЭВМ типа IBM PC/AT. При разработке оптико-электронных блоков применялось электронное моделирование. Проверка теоретических положений и аппаратных реализаций выполнена экспериментально.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Метод оптической обработки интерференционных полей в интерферометрии двух длин волн и его оптико-электронный аналог в интерферометрии одной длины волны обеспечивают контроль формы оптической поверхности в реальном времени с точностью не хуже 0,01 интерференционной полосы.

2. Оптическая схема интерферометра с опорным пучком в объектной ветви и небольшим симметрично смещенным относительно оптической оси ходом пучков, обеспечивает исключение влияния вибрации.

3. Разработанный комплекс средств формирования, регистрации, преобразования и анализа интерференционных полей создали основу для автоматизации контроля формы оптических поверхностей с использованием отечественных микроЭВМ. Его метрологические характеристики не уступают характеристикам зарубежных образцов аналогичных по назначению, например, фирмы "Zygo" (комплексам типа "Mark"), а по виброустойчивости превосходят.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложены, теоретически и экспериментально исследованы метод оптической обработки интерференционных полей в интерферометрии двух длин волн и его оптико-электронный аналог в интерферометрии одной длины волны. Эти методы, использующие принцип синхронного фазового детектирования в реальном времени, позволяют увеличить точность измерения формы оптических поверхностей без применения специальных математических методов в 8...10 раз.

2. Предложена оптическая схема интерферометра с опорным пучком в объектной ветви и небольшим симметрично смещенным относительно оптической оси измерительной оптической системы ходом пучков, что позволяет исключить влияние вибрации.

3. Теоретически обоснован выбор разрядности аналого-цифрового преобразования для количественной оценки амплитуды видеосигнала до и после обработки интерференционного поля.

4. Показано, что использование в программном обеспечении элементов вероятностного подхода, несмещенных оценок и методов цифровой фильтрации к обработке многомерных массивов данных позволяет выполнить эффективный автоматизированный контроль на микроЭВМ.

5. Разработан комплекс согласованных аппаратных средств, включающий измерительную оптическую систему, устройство регистрации, преобразования и согласования с микроЭВМ, программное обеспечение.

Практическая ценность работы заключается в создании согласованных средств формирования, регистрации, преобразования и анализа оптической измерительной информации. Эти средства включают измерительную установку, формирующую требуемое изображение, устройство для регистрации, преобразования и согласования с микроЭВМ, программное обеспечение автоматизированного контроля формы оптических поверхностей в производственных условиях. Созданный макет виброустойчивого автоматизированного интерферометра обеспечивает контроль в полосе частот вибрации до 1000 Гц, искажениями формы контролируемой поверхности до 5 интерференционных полос с точностью не хуже 0,01 интерференционной полосы (применяемые оптические элементы были изготовлены с точностью $1/30$ длины волны) при отношении (сигнал+шум)/шум=3дБ и вероятностью достоверного результата 0,95.

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, получено 6 авторских свидетельств, выпущено 11 отчетов о НИР и 3 технических пректа. Основные результаты работы докладывались и получили положительную оценку на всесоюзных научно-технических конференциях: 7-ой "Фотометрия и ее метрологическое обеспечение", 1988, Москва; "Лазерная технология в приборостроении", 1985, Рига; 2-ой "Оптика лазеров", 1981, Ленинград; 8-ой по генераторам низкотемпературной плазмы, Новосибирск, 1980; всесоюзном семинаре "Методы контроля оптических деталей и систем астроприборов", Москва, 1979.

Реализация и внедрение. Результаты работы использованы при создании опытных образцов СТЗ в НИИ ПТ "Растр", внедрении в НПО "Луч" (см. Акты внедрения) макета виброустойчивого автоматизированного интерферометра, что позволило повысить качество и производительность технологического процесса изготовления оптических изделий на ОЗ НПО "Луч".

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Она изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 40 иллюстраций, 7 таблиц, список литературы, включающий 151 наименование, приложения: 1—"Акты внедрения", 2—"Листинги программного обеспечения".

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи исследования и научная новизна.

В первой главе обобщены современные методы и средства оптического контроля поверхностей по способам анализа волнового фронта. Проведено их сравнение, на основании которого выделены основные трудности получения количественных данных и их интерпретации. Критически рассмотрены аппаратные методы и автоматизированные средства регистрации и анализа видеозображений интерференционного поля, с точки зрения повышения точности и оптимальности реализации интерферометрического контроля формы оптической поверхности с быстроедействием, обеспечивающим функционирование автоматических систем управления технологическими процессами изготовления оптических деталей и систем. Существующие алгоритмы обработки результатов интерферометрического контроля не обеспечивают достаточного быстрого действия, а перспективная методика экспрессного анализа волновых полей (несмещенные оценки) не приспособлена к производственным условиям и рассчитана для работы на ЭВМ с параллельной обработкой (транспьютеры).

Во второй главе предложены, теоретически и экспериментально исследованы метод обработки интерференционных полей в интерферометрии двух длин волн и его аналог. Эти методы позволяют в реальном времени наблюдать форму контролируемой оптической поверхности и увеличить точность контроля.

В интерферометрии двух длин волн это достигается пространственным разделением и одновременным изменением масштаба интерференционных полей пропорционально длинам волн, на которых они образуются,

перед их сложением на фотоприемнике [14,17].

Интерференционное поле, образованное отраженным и опорным волновым фронтом на первой длине волны, описывается следующим выражением

$$S_1 = I_1 + I_0 + 2\sqrt{I_1 I_0} \cos(\Phi_1 + \Delta r / \lambda_1), \quad (1)$$

а на второй длине волны

$$S_2 = I_1 + I_0 + 2\sqrt{I_1 I_0} \cos(\Phi_2 + \Delta r / \lambda_2), \quad (2)$$

где Δr — разность хода лучей. При сложении полей (1) и (2) на фотоприемнике образуются муаровые полосы, описываемые выражением

$$S = K \cos[(\Phi_1 - \Phi_2)/2 + 2\pi \Delta r * (1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)]$$

Интервал между соседними муаровыми полосами равен

$$\Delta = 1/[2(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)] \text{ или } \Delta = \lambda_1 \lambda_2 / [2(\lambda_1 - \lambda_2)]. \quad (3)$$

Система муаровых полос определяется как различием форм поверхностей (контролируемой и опорной), так и вариациями этих фаз, поэтому в общем случае имеем

$$S = K \cos[(\Phi_1 - \Phi_2)/2 + 2\pi * (1/\lambda_1 - 1/\lambda_2) * \Delta r + \pi * \Delta \phi / 2]. \quad (4)$$

Одинаковые для обеих длин волн вариации величины ϕ практически не сказываются на картине муаровых полос, так как чувствительность метода определяется выражением (3).

При изменении масштаба пространственно разделенных интерференционных полей обратно пропорционально длинам волн, на которых они образованы, и последующем сложении на фотоприемнике имеем

$$S = K_1 \cos\{[(\Phi_1 - \Phi_2) + \pi * \Delta \phi] / 2\}. \quad (5)$$

В интерферометрии одной волны это достигается одновременной записью двух интерференционных полей, полученных в результате пространственного разделения исходного интерференционного поля на две составляющие при одновременном изменении их масштаба. Этот масштаб изменяют в заданное число раз, а интерференционные поля проецируют на две отдельные телекамеры, ориентируя интерференционные полосы вдоль направления кадровой развертки. При этом частоту видеосигнала, спроецированного с увеличением интерференционного поля, умножают в то же число раз и используют в качестве опорной для определения разности фаз синхронно по строкам исходного видеосигнала второй телекамеры [11].

При малых искажениях формы исследуемой поверхности реализация данного способа упрощается, а точность измерений сохраняется. Это достигается тем, что масштаб одной из них устанавливают больше

масштаба другой в два раза, а ее видеосигнал используют непосредственно в качестве опорного для определения разности фаз синхронно по строкам исходного видеосигнала.

При сканировании изображения по i строке на выходе первой телекамеры получается видеосигнал, описываемый следующим выражением:

$$K1(x, y_i) = A_0 \cdot \cos[2\pi \cdot N1 \cdot t / T + \Phi(x, y_i)], \quad (6)$$

где $N1$ — число полос на i строке, T — время прямого хода сканирования полос по строке, $\Phi(x, y_i) = \Delta N1(x, y_i) \cdot \pi / T$ — фаза, в которой заключена информация о каждой точке (x, y_i) поверхности. Так как на приемной площадке $x2 = 2(x - x_0)$, $y2i = 2(y - y_0)$ и $N2i = N1 - N_0$, то на выходе второй телекамеры

$$K2(x2, y2i) = B_0 \cdot \cos[2\pi \cdot N2i \cdot t / T + \Phi_0(x2i, y2i)]. \quad (7)$$

С помощью простых тригонометрических преобразований показано, что использовании второго видеосигнала, удвоенного по частоте электронным способом, в качестве опорного для фазового синхронного детектирования по строкам, мы получим сигнал, пропорциональный разности фаз, то есть информации о контролируемой поверхности, в виде амплитуды

$$K3(x, y_i) = C_0 [\Phi(x, y_i) - 2\Phi_0(x2, y2i)], \quad \text{при } |\Delta\Phi| < \pi/2, \quad (8)$$

точность отсчета которой практически зависит только от точности работы выбранного АЦП (аналого-цифрового преобразователя) и искажений фазового детектора.

При малых значениях коэффициента гармоник (искажения) смесителя и малых искажениях формы поверхности погрешность преобразования можно оценить по следующей формуле:

2

$$\delta N1 = K_g \cdot \sin(\Delta N1_{\max}) \cdot \cos(\Delta N1_{\max}) / (1 - [K_g \cdot \cos(\Delta N1_{\max})]). \quad (9)$$

Например, при работе с фазовым детектором, собранным на смесителе типа K140MA1 ($K_g = 0,05$), и искажениями формы контролируемой оптической поверхности не более чем на 0,5 интерференционной полосы ($|\Delta N| \leq \pi/4$) погрешность $\delta N = 0,004$, что составляет менее 0,01 интерференционной полосы (без учета шума).

Приведены результаты исследования практических принципиальных схем фазовых детекторов, выполненных на твердотельных смесителях (перемножителях), рекомендации по выбору элементной базы и применяемая схема выделения фазы интерференционного поля контролируемой поверхности, разработанная автором (рис.1), с величиной K_g не более 0,005 в диапазоне $|\Delta N_{\max}| \leq \pi/4$ [8, 11].

Оптико-электронная обработка интерференционных полей
(функциональная схема фотоприемного блока)

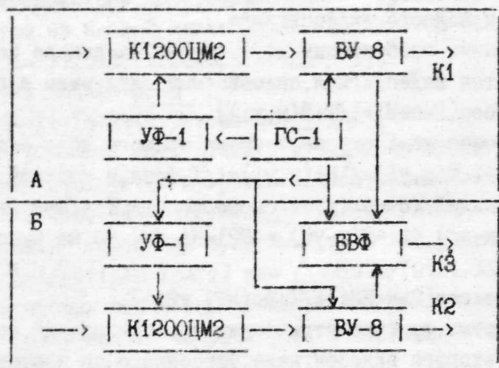


Рис. 1.

Функциональная схема системы технического зрения (блок сопряжения телекамер с микроЭВМ)



К1...К3-выходы телекамер; ССИ, КСИ-строчный и кадровый синхронизирующие импульсы; Fтакт- частота дискретизации телекамеры по строке; ФНЧ-фильтр низких частот; ЦАП-цифро-аналоговый преобразователь; УВП-устройство выбора преобразуемого поля видеоизображения; ВКУ-видеоконтрольное устройство; ОЗУ-оперативно-запоминающее быстродействующее устройство

Рис. 2.

Теоретически обоснован выбор разрядности аналого-цифровых преобразователей для обработки видеоизображений на выходе телекамер (оптимально 8,5 двоичных разрядов) или оптико-электронного блока (число разрядов АЦП должно соответствовать погрешности работы фазового детектора). Приведены разработанная автором принципиальная схема блока сопряжения телекамер с микроЭВМ типа ДВК (рис.2), включающая АЦП с буферным ОЗУ и системным интерфейсом, устройство выбора поля дискретизации видеоизображения (рис.3), уменьшающее объем необходимой буферной быстродействующей памяти, предложенные и используемые в данной работе аппаратные методы повышения контрастности и яркости видеоизображений при записи, позволяющие дополнительно увеличить точность измерений [18].

В третьей главе описано экспериментальное исследование условий эксплуатации и виброустойчивости оптико-электронного интерферометра с помощью специального устройства [9], приведены функциональная и принципиальная электрическая схемы, результаты измерений уровня вибрации на рабочих местах.

Дана полная схема макета автоматизированного виброустойчивого оптико-электронного интерферометра (рис.5) с его основными узлами [18]: оптическая схема интерферометра с опорным пучком сравнения в объектной ветви, оптико-электронный блок обработки интерференционных полей на базе двух телекамер, устройство выбора поля дискретизации в видеоизображении (рис.3), система стабилизации монохроматического лазерного излучения [8,11,12] (рис.4), оптический расчет масштабирующих объективов, режимы работы перспективной телекамеры КТП-108, повышающие виброустойчивость.

В программное обеспечение введены элементы вероятностного подхода, цифровой фильтрации и несмещенных оценок к обработке многомерных массивов данных, получаемых при использовании оптической, оптико-электронной или непосредственной обработки интерференционного поля. Применяемые методы описаны, а в приложении приведены листинги соответствующих программ [18]. Программное обеспечение рассчитано на применение маломощных микроЭВМ.

Основной алгоритм обработки данных интерферометрического контроля оптических поверхностей состоит из следующих этапов.

Устройство выбора поля дискретизации видеоизображения

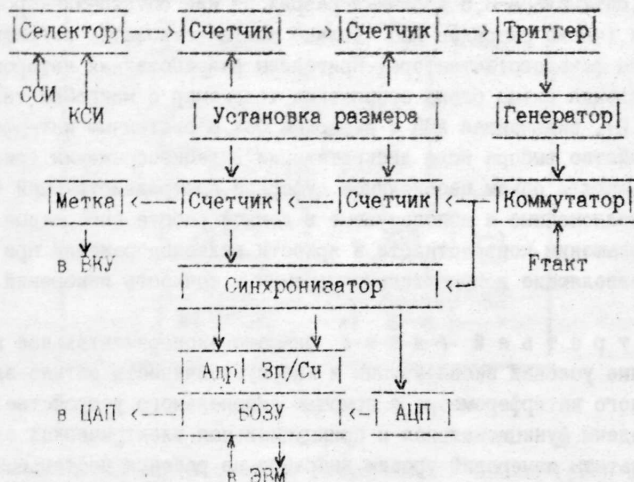


Рис. 3.

Функциональная схема блока стабилизации излучения лазера



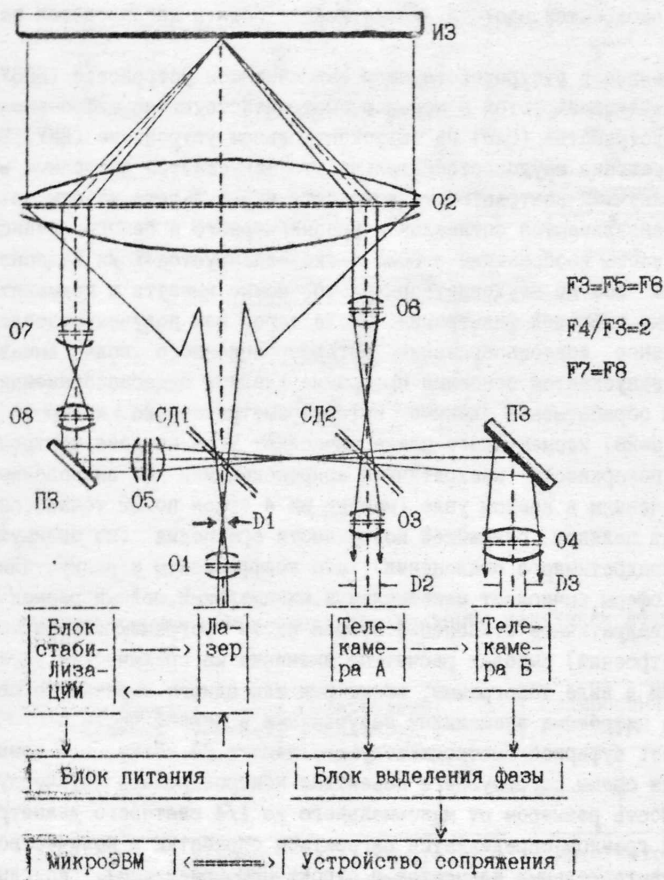
Рис. 4.

Устанавливаются исходные данные: максимальный размер памяти, число записываемых кадров видеоизображения, номер используемой камеры, выбирается частота дискретизации поля и производится запись.

Записанные в быстродействующем запоминающем устройстве (БОЗУ) данные визуализируются с помощью быстродействующего цифро-аналогового устройства (ЦАП) на видеоконтрольном устройстве (ВКУ). Если изображение неудовлетворительно, то запускается программа выбора наилучших контрастности и яркости, в результате работы которой устанавливаются оптимальные уровни черного и белого. Записывается вновь изображение в БОЗУ и визуализируется. Если видеоизображение все же неудовлетворительно, можно вызвать и применить программу цифровой фильтрации. После того, как получено удовлетворительное видеоизображение интерференционного поля, вызывается и запускается основная программа анализа видеоизображения, которая обрабатывает данные интерферометрического контроля в узлах ($N=28$) несмещенного плана, вычисляет угол наклона контролируемой поверхности квадратичной аппроксимацией по вычисленным его значениям в каждом узле (массив из 4 строк по 32 точки), определяет полином ближайшей поверхности сравнения (по минимуму среднеквадратичного отклонения), его коэффициенты и радиус ближайшей сферы, вычисляет максимальный, минимальный, полный размах и среднеквадратичное отклонение. Вторая часть программы (графические построения) выводит расчетные значения на графический экран микроЭВМ в виде топограммы, изометрии или одного выбранного сечения с цифровыми значениями, полученными в первой части.

Емкость буферной быстродействующей памяти 64 кБайт, что позволяет без смены согласующего объектива контролировать оптическую поверхность размером от максимального до $1/4$ светового диаметра (нижняя граница определяется алгоритмом обработки и количеством светочувствительных элементов в строке ПЗС-приемника). Круглые изделия аппроксимируются полиномом Цернике, а прямоугольные — полиномом Лагранжа до 8 степени (ограничение, наложенное технологией изготовления, где применяется наш комплекс, но теоретически возможно до 10 степени с незначительным увеличением времени обработки). Приведены, в качестве примера, результаты контроля плоского

Функциональная схема виброустойчивого оптико-электронного интерферометра с автоматизированной обработкой данных



* оптические пучки изображены не в масштабе

Рис. 5.

зеркала, полученные на разработанном виброустойчивом интерферометре с автоматизированным вводом и обработкой данных контроля и укомплектованным микроЭВМ типа ДВК [18] (рис.6).

Основные результаты работы приведены в з а к л ю ч е н и и.

1.Разработан новый высокоточный метод оптической обработки интерференционных полей в двухдлинноволновой и оптико-электронный аналог для одноволновой интерферометрии, позволяющие в реальном времени проводить анализ формы контролируемой оптической поверхности без применения специальных математических методов с точностью не хуже 0,01 интерференционной полосы.

2.Разработаны оптические схемы интерферометров с совмещенными ветвями,исключающие влияние вибрации.

3.Предложено программное обеспечение включающее элементы вероятностного подхода, несмещенных оценок и методов цифровой фильтрации к обработке многомерных массивов данных, получаемых с использованием оптической,оптико-электронной или непосредственной обработки интерференционных полей, позволяющее автоматизировать технологический и аттестационный контроль формы оптических поверхностей.

4.На основании теоретических и экспериментальных исследований разработан и внедрен в производство виброустойчивый интерферометр с автоматизированной обработкой данных контроля формы оптических поверхностей с применением отечественных микроЭВМ и метрологическими характеристиками не уступающими характеристикам, зарубежных образцов,аналогичных по назначению,например, фирмы "Zygo" (комплексам типа "Mark").

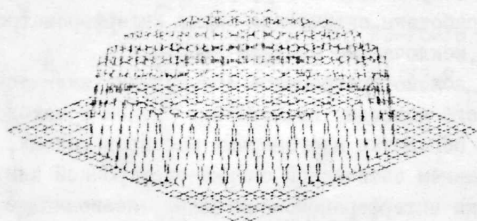
5.Предложены аппаратные методы повышения контрастности и яркости регистрируемых видеоизображений, использование специальных режимов работы ПЗС-телекамеры,которые могут применяться в других областях науки и техники, например, при исследовании оптических свойств газовых сред [2-5,10].

6.Основные теоретические положения и выводы проверены экспериментально.

7.Результаты полученные автором и описанные в данной работе используются в универсальной системе технического зрения (стадия ОКР) для серийного выпуска промышленностью.

Представление результатов контроля плоского зеркала
вибрустойчивым интерферометром укомплектованным
микроДВМ типа ДВК :

RMS = 1.602
P-V = 12.906
MAX = 10.792
MIN = -2.114
(UMSD)



(M)
RAD = 0.23E+05
SIZE = 0.30E-01

RMS-средне-квадратичное отклонение; P-V-максимальный размах;
MAX, MIN - максимальные отклонения от ближайшей поверхности
сравнения, вычисленной по минимуму RMS; RAD-радиус сферы, впи-
сывающейся в расчетную поверхность; SIZE-световой диаметр

Рис.8.

Личный вклад автора, изложенный в тексте диссертации, частично опубликован в следующих работах:

1. Шаньгин О.С. и др. Фотометрическая система для измерения параметров оптических элементов. Тезисы докладов. /Денискина Т.И., Курочкин Ю.В., Лазуткин О.Н., Шаньгин О.С./ -Всесоюзный семинар "Методы контроля оптических деталей и систем астроприборов". Москва, июль, 1979, 2с.
2. Шаньгин О.С. и др. О возможности создания инверсной среды в канале электродугового плазматрона. Тезисы докладов. /Курочкин Ю.В., Уколов В.В., Шаньгин О.С./ -2-ая всесоюзная конференция "Оптика лазеров". Ленинград, январь, 1980, с. 54-55.
3. Шаньгин О.С. и др. Исследование неравновесных свойств плазмы дугового разряда в смеси N_2-CO_2-He методом лазерного зондирования. Тезисы докладов. /Абакумов Б.В., Курочкин Ю.В., Уколов В.В., Шаньгин О.С./ -8-ая всесоюзная конференция по генераторам низкотемпературной плазмы. Новосибирск, июль, 1980.
4. Шаньгин О.С. и др. Исследование неравновесных свойств плазмы дугового разряда в смеси N_2-CO_2-He методом лазерного зондирования. /Абакумов Б.В., Курочкин Ю.В., Уколов В.В., Шаньгин О.С./ - Известия СО АН СССР. Серия технических наук. Вып. 3, 1980, с. 62-64.
5. Шаньгин О.С. и др. Исследование свойств инверсной среды в канале плазматрона. /Курочкин Ю.В., Уколов В.В., Пустогаров А.В., Шаньгин О.С./ -Теплофизика высоких температур, т. 18, вып. 3, 1980, с. 469-474.
6. А.с. СССР N795388 от 08.09.80. Шаньгин О.С. и др. Способ определения интенсивности насыщения лазерно-активной среды. М.Кл. Н 01S 3/22.
7. А.с. СССР N845718 от 06.03.80. Шаньгин О.С. и др. Способ измерения распределения усилительных свойств активной среды. М.Кл. Н 01S 3/00.
8. Шаньгин О.С. и др. CO_2 -лазер с модуляцией излучения током разряда. /Денискина Т.И., Кочетов В.Н., Лазуткин О.Н., Шаньгин О.С./ - Приборы и техника эксперимента, 1981, N6, с. 170-171.
9. А.с. СССР N883841. Шаньгин О.С. и др. Оптическое сканирующее устройство. Приоритет от 21.07.81. Опубликовано 23.11.81. Бюллетень N43. М.Кл. G 02b 27/17.

10. Шаньгин О.С. и др. Высокотемпературный селективный газодинамический CO₂-лазер непрерывного действия. / Курочкин Ю.В., Пахомов Н.Ю., Пустогаров А.В., Шаньгин О.С. / - Теплофизика высоких температур, 1982, т. 20, вып. 3, с. 573-579.
11. Шаньгин О.С. Фотометрическая система для измерения параметров оптических элементов и сред. - ВНИИМИ, ИЛ N83-1716, 1983, с. 3.
12. Шаньгин О.С., Горохов В.И. Высоковольтный стабилизатор тока для измерительных CO₂-лазеров. - Приборы и техника эксперимента, 1984, N4, с. 185-186.
13. А.с. СССР N1127512 от 01.08.84. Шаньгин О.С. и др. Способ определения параметров усиления лазерно-активной среды.
14. Шаньгин О.С. и др. Двухдлинноволновая лазерная диагностика оптически активных сред. Тезисы докладов. / Завидей В.И., Курочкин Ю.В., Лазуткин О.Н., Шаньгин О.С. / . Научно-техническая конференция "Лазерная технология в приборостроении", ноябрь, 1985, г. Рига.
15. А.с. СССР N1143276 от 01.11.85. Шаньгин О.С. и др. Устройство для измерения параметров усиления лазерно-активной среды.
16. А.с. СССР N264723 от 02.11.87. Шаньгин О.С. и др. Устройство для измерения энергетических параметров лазерно-активной среды.
17. А.с. СССР N1533455 от 01.09.89. Шаньгин О.С., Щетников А.А. Способ двухдлинноволновой интерферометрии. Заявка 4420345/-28 (068941). Приоритет 03.05.88.
18. Пуряев Д.Т., Шаньгин О.С., Щетников А.А. Виброустойчивый оптико-электронный интерферометр с автоматизированной обработкой данных. 7-ая всесоюзная научно-техническая конференция "Фотометрия и ее метрологическое обеспечение". Тезисы докладов. НИИОФИ, 1988, декабрь, Москва, 2с.