

На правах рукописи

Иванов Кирилл Анатольевич

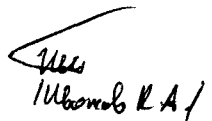
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ
ЮСТИРОВКИ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Специальность: 05.11.14 – Технология приборостроения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

С-Петербург – 2004


Иванов К. А.

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете информационных технологий, механики и оптики.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор С.А. Сухопаров

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор В.А. Валетов,
кандидат технических наук Л.И. Крынин.


Ведущая организация: ВНИЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург.

Защита состоится «30» *марта* 2004 г. в 15¹⁰ часов ауд. на заседании диссертационного совета Д 212.227.04, в Санкт-Петербургском государственном университете информационных технологий, механики и оптики по адресу: 197101, Санкт-Петербург, ул. Саблинская, д.14.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «27» *февраля* 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета к.т.н., доц.

 Е.В. Шалобаев

2006-4
8550

215-4662
3

Аннотация. Рассмотрены задачи оптимизации процесса юстировки оптико-электронных приборов. Предложены практические решения автоматизации юстировки цифровых оптических сканирующих систем.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена необходимостью упрощения и удешевления такой операции в производстве, как юстировка.

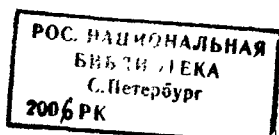
К настоящему времени из общего объема затрат времени и средств на производство оптических приборов на сборку и юстировку приходится более 50%, причем на юстировку приходится большая часть затрат.

Причиной преобладания затрат на юстировку является сложность и субъективность приемов юстировки. Поэтому в технологии юстировки преобладают ручные трудоемкие операции. Сложность юстировки требует более высокой квалификации рабочих. В последнее время требования к точности, надежности приборов и удобству их эксплуатации повышаются, юстировка проникает все шире в различные области производства, например, машиностроение. Большие затраты на юстировку приборов оправдывают поиски средств сокращения затрат на юстировку.

Все это вызывает необходимость облегчения и удешевления юстировочных операций путем их автоматизации.

Компьютерные технологии позволяют значительно усовершенствовать процесс юстировки ОП. Если использовать методы, описанные в данной работе, то с помощью компьютера можно:

- рассчитать и оптимизировать допуски на все элементы конструкции ОП, достигнуть полной взаимозаменяемости и значительно сократить или даже исключить юстировку;
- автоматизировать процесс юстировки и контроля высокоточных приборов.



Целью исследования является

- исследование возможности оптимизации юстировки приборов, включающей в себя компьютерную подготовку, упрощение процесса юстировки, его ускорение за счет применения вычислительной техники и удешевление;

Для достижения указанных целей были **поставлены и решены следующие основные задачи:**

- изучение проблемы сохранения точности приборов при нарушении их геометрической схемы;
- поиск исторических прецедентов, связанных с автоматизацией процессов юстировки;
- изучение, совершенствование и развитие методов рационального распределения допусков на все узлы и детали приборов в процессе его проектирования;
- разработка методики, позволяющей автоматизировать процесс юстировки высокоточных приборов и ее практическая реализация для сканирующих систем;
- результаты исследований внедрены в производство.

Объектом исследования является ряд высокоточных опто-электронных сканирующих приборов.

Предмет исследования – идеологическое, программное и аппаратное обеспечение автоматизации юстировочного процесса.

Информационная база исследования включает данные российских производителей, рекомендации и требования Федерального Бюро Расследований (FBI) Соединенных Штатов Америки.

Методологической и теоретической основой исследования послужило использование гипотетико-дедуктивного и индуктивного методов научного познания. Достоверность научных выводов и практических рекомендаций основывается на теоретических и методологических положениях, сформулированных в исследованиях как отечественных, так и зарубежных ученых, а также на результатах тестирования разработанных методов и моделей. При решении конкретных проблем автоматизации юстировки приборов использовались методы математического анализа и прикладной статистики.

Наиболее существенные результаты и научная новизна диссертационной работы состоят в разработке новых методов рационального распределения допусков на все узлы и детали приборов в процессе его проектирования, определении границ применения этих методов;

Исследование теоретических вопросов оптимизации юстировки и их практической реализации привели к следующим результатам, содержащим, по мнению автора, элементы *научной новизны*:

1. Дополнен метод рационального распределения допусков на все узлы и детали приборов в процессе его проектирования, определены границы применения этого метода.
2. Разработана концепция и метод автоматизации процесса контроля и юстировки высокоточных цифровых сканирующих приборов. Данный метод позволяет производить автоматизацию:
 - таких юстировочных операций как фокусировка, подвижки изображения в поле зрения прибора, компенсация геометрических искажений, регулировка яркости;
 - автоматический контроль функции передачи модуляции для объективов;
 - контроль и паспортизация выходных характеристик прибора, а также любых параметров передаваемого системой изображения.
3. Приведены примеры настроечных миш, разработанных для юстировки сканирующих приборов по предложенной методике.
4. Подробно рассмотрены метод и проблемы измерения функции передачи модуляции (MTF - Modulation Transfer Function), позволяющей судить о качестве как отдельных узлов прибора (объективов), так и о юстировке прибора в целом.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что оно показало возможность оптимизации процесса юстировки в точном приборостроении, оптимизации процессов контроля и паспортизации узлов и приборов. Основные положения и выводы, содержащиеся в диссертации, могут быть использованы при дальнейшем развитии теории оптимизации процессов юстировки и контроля.

Практическая значимость исследования состоит в том, что полученные результаты могут быть применены в процессе производства, начиная от разработки и заканчивая сборкой и настройкой прибора.

Целесообразность практического использования полученных решений оптимизации подтверждена реализацией всех наработок в производстве в настоящий момент. Объектом юстировки является серия сложных высокоточных оптических сканеров, предназначенных для получения отпечатков пальцев. Переход большинства государств на регистрацию и контроль граждан с использованием биометрических средств и, в частности, отпечатков пальцев, приводит к широкому распространению данного класса приборов. В связи с этим автоматизация юстировки сканирующих дактилоскопических систем становится актуальной проблемой.

Реализация идей и методик, изложенных в настоящей работе позволила в производстве цифровых оптических сканирующих приборов, предназначенного для получения отпечатков пальцев, поднять производительность юстировочных операций более чем в 2 раза.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Дополнение метода рационального распределения допусков на все узлы и детали приборов в процессе его проектирования, границы применения этого метода.
2. Концепция и метод автоматизации процесса контроля и юстировки высокоточных цифровых сканирующих приборов. Данный метод позволяет производить автоматизацию таких юстировочных операций как фокусировка, подвижки изображения в поле зрения прибора, компенсация геометрических искажений, регулировка яркости;
 - автоматический контроль функции передачи модуляции для объективов;
 - контроль и паспортизация выходных характеристик прибора, а также любых параметров передаваемого системой изображения.
3. Автоматический контроль и паспортизация выходных характеристик узлов прибора.

Апробация результатов исследования. В настоящее время все рассмотренные в работе наработки реализованы в производстве ЗАО «ИНТЕК».

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 5 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 97 наименований и 1 приложения.

Работа содержит 139 страниц машинописного текста, 49 рисунков, 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен обзор некоторых подходов в создании оптических систем, при помощи которых обеспечивается сохранение точности прибора при нарушении его геометрии. При этом отпадает необходимость поверки и настройки прибора перед эксплуатацией.

Основой данной главы является математическое моделирование нарушения геометрической схемы прибора, использование которого позволяет проанализировать оптические системы и выявить в них свойство адаптации (самоприспособления) к нарушению их геометрии. Дана методика проведения математического моделирования (математического описания) нарушения геометрии адаптивных приборов. Приведенные материалы основываются на трудах Сухопарова С.А., Колосова М.П. и др.

Рассматривается деление адаптивных систем на три группы – самокалибрующиеся, нерасстраивающиеся и комбинированные и приводится сравнение соответствующих трех подходов к созданию адаптивных систем.

Если приборы нерасстраивающиеся, то в результате математического моделирования нарушения геометрической схемы прибора не входят в полученные выражения измеряемых параметров наблюдаемого прибором объекта. Если же прибор самокалибрующийся, то параметры нарушения его геометрии войдут

в выражения угловых координат цели как результат измерений внутрприборных датчиков (как правило, это фотоэлектрические коллиматоры и датчики углов поворота). Нерасстраивающиеся приборы в самом общем смысле нечувствительны к нарушениям их геометрии, а самокалибрующиеся приборы всегда производят измерение фактического положения наблюдаемого объекта, исключая тем самым влияние нарушения их геометрической схемы на точность измерений.

Во второй главе рассмотрены различные методы расчетов и оптимизации допусков на все элементы ОП. Проблема заключается в поиске таких величин допусков на все узлы и детали прибора, которые позволят достигнуть полной взаимозаменяемости и значительно сократить или даже исключить юстировку.

При расчете допусков по методу МОТР (многофакторная оптимизация точностного расчета) производится такое перераспределение допусков, при котором наиболее жесткие допуски расширяются за счет более широких допусков, так чтобы все допуски оказались на заданном уровне точности. Под уровнем точности понимают достижимую точность при действии на точность всех факторов в данном производстве. Уровни точности принято делить на три ступени: экономический /наиболее «широкий»/, производственный /более жесткий/, технический /предельно жесткий/ уровни.

Рассмотрим основные положения МОТР. При расчете допусков исходят из уровня точности. Исходными данными для расчета являются суммарные допуски δ_x на ОП в целом и на его отдельные части. Последовательность расчета следующая:

Сначала вычисляют допуски отдельно на систематические и случайные погрешности по формулам (1) на старшем иерархическом уровне

$$\Delta_1 = \frac{C_1}{K_1} \cdot \frac{\delta_x}{\sum_1^n C_p} \quad \Delta_2 = \frac{C_2}{K_2} \cdot \frac{\delta_x}{\sqrt{\sum_1^n C_x^2}} \quad (1)$$

В случае совместного влияния систематических и случайных погрешностей допуски вычисляют по формулам:

$$\Delta_i = \frac{C_i}{K_i} \cdot \frac{\delta_{\Sigma}}{\sum_j C_p + \sqrt{\sum_j C_p^2}} \quad (2)$$

где Δ_i и Δ_j - допуски, δ_{Σ} - исходный /суммарный/ допуск, C_i , C_p , C_{Σ} - коэффициенты оптимизации, K - пространственный передаточный коэффициент /ППК/, $i, j, p, g = 1, 2 \dots m, n$.

Вычисления ведутся итерационным путем. При первом шаге итерации коэффициенты оптимизации принимаются равными 1. Рассчитанные допуски сравниваются с уровнями точности Δ_{\min} . Соответствие уровню точности определяется неравенством

$$\Delta \geq \Delta_{\min} \quad (3)$$

Если условие (3) не выполняется, то необходима оптимизация. Возможность оптимизации определяется неравенством (4)

$$\sum_i \Delta \geq \sum_i \Delta_{\min} \quad (4)$$

Для проведения оптимизации рассчитываются коэффициенты оптимизации по формуле (5) /для систематических погрешностей/

$$C_i = \frac{AB_1 \sum_1^{n-1} C_p}{1 - AB_1} \quad (5)$$

где $A = \frac{\Delta_{\min}}{\Delta}$, Δ_{\min} - допуск по уровню точности, Δ - допуск, рассчитанный при

первом шаге итерации, $B_1 = \frac{C_p}{\sum_1^n C_p}$,

C_p - коэффициент оптимизации при последующем шаге итерации.

Если оптимизация в соответствии с неравенством (4) невозможна, то переходят на более жесткий уровень точности.

Если даже при переходе на самый высокий уровень точности /технический/ оптимизация по условию (3) невозможна, то необходимо ввести компенсатор накопленных погрешностей.

Затем каждая из выделенных частей ОП делится на более простые и вновь рассчитываются допуски по методу МОТР. За исходный /суммарный/ допуск при этом принимается допуск на эту часть или соединение, полученный на старшем иерархическом уровне.

Такой расчет ведется до самого младшего иерархического уровня. По допускам, рассчитанным на самом младшем иерархическом уровне определяются качества и степени точности в соответствии с их функциями размера.

Предложенный профессором Сухопаровым С.А. метод (МОТР) дополнен автором диссертации. Новый метод представляет собой альтернативный метод расчета допусков, позволяющий осуществить перераспределение допусков с минимальным количеством математических операций. На рис. 1 приведен обобщенный вид предлагаемого алгоритма оптимизации допусков для одного иерархического уровня.

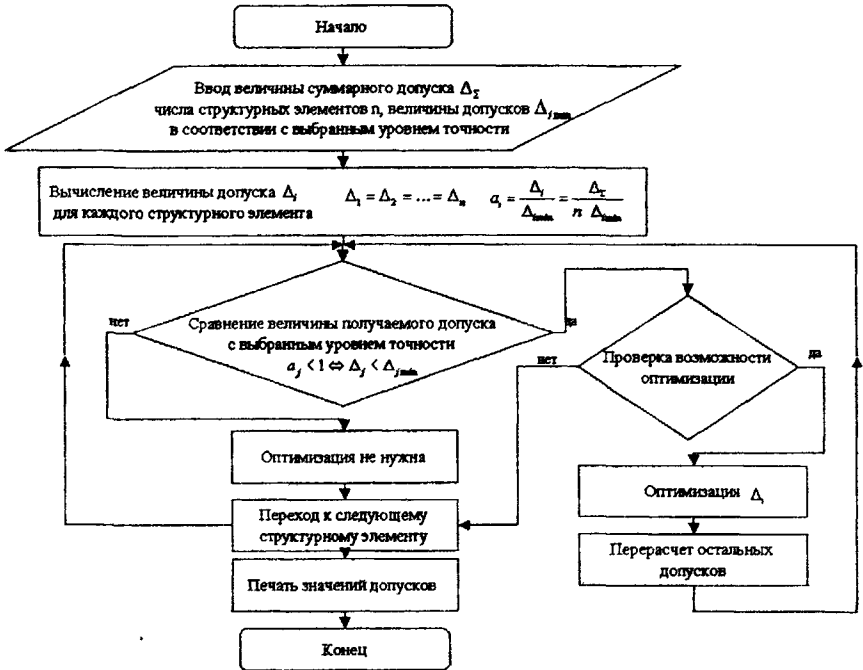


Рис. 1. Обобщенный вид алгоритма оптимизации допусков для одного иерархического уровня

Пусть Δ_{Σ} - суммарный допуск на прибор (или рассматриваемый узел), $\Delta_{i, \min}$ - величина допуска на узел (деталь) в соответствии с выбранным уровнем точности, Δ_i - искомый допуск на узел (деталь), n - число элементов, на которые разбивается рассматриваемый прибор (узел). Тогда:

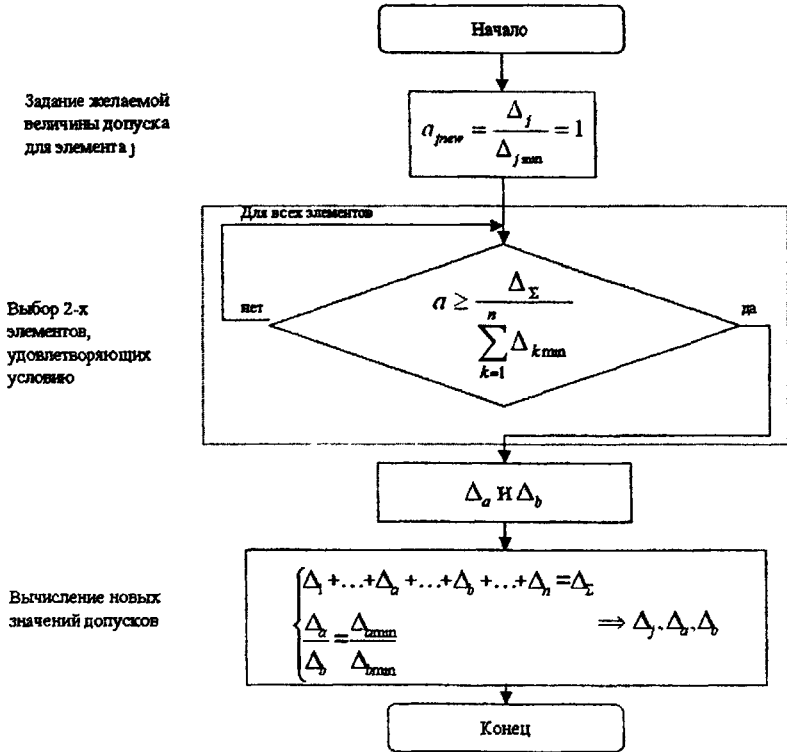
$$\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n = a_1 \Delta_{1, \min} + a_2 \Delta_{2, \min} + \dots + a_n \Delta_{n, \min} = \Delta_{\Sigma} \quad (6)$$

где $a_i = \frac{\Delta_i}{\Delta_{i, \min}}$ - коэффициент пропорциональности.

В первом приближении полагаем $\Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_n$, тогда

$$a_i = \frac{\Delta_{\Sigma}}{n \cdot \Delta_{i, \min}} \quad (7)$$

Если для какого-либо элемента $a_j < 1$ (т.е. $\Delta_j < \Delta_{j, \min}$), то необходимо произвести перерасчет коэффициентов a_i .

Рис. 2 иллюстрирует алгоритм оптимизации допуска Δ_j .Рис. 2. Алгоритм оптимизации допуска Δ_j .

Для оптимизации полагаем $a_{j_{new}} = 1$ (или какое-либо другое необходимое нам значение). Недостающую величину допуска (разницу $\Delta_{j_{new}} - \Delta_j$) нужно набрать, уменьшая допуски у тех элементов прибора (узла), у которых он выше среднего значения, т.е. для которых величина коэффициента a , превышает среднюю по всем элементам данного иерархического уровня:

$$a \geq \frac{\Delta_{\Sigma}}{\sum_{k=1}^n \Delta_{k_{min}}}$$

Выбираем два элемента (a и b), у которых мы будем «резать» допуски (Δ_a и Δ_b). Отсюда приходим к необходимости решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \Delta_1 + \dots + \Delta_a + \dots + \Delta_b + \dots + \Delta_n = \Delta_{\Sigma} \\ \frac{\Delta_a}{\Delta_b} = \frac{\Delta_{a \min}}{\Delta_{b \min}} \end{cases} \quad (8)$$

Решение этой системы уравнений с двумя неизвестными (Δ_a и Δ_b) даст нам новые значения величин Δ_j , Δ_a и Δ_b , что и требовалось.

Рассматривая систему уравнений (8) нетрудно получить условия, при которых подобная оптимизация возможна:

$$\begin{cases} \Delta_j \leq \Delta_{\Sigma} - \sum_{k=1}^{n-2} \Delta_k - 1 - \frac{\Delta_{a \min}}{\Delta_{b \min}} \\ \Delta_j \leq \Delta_{\Sigma} - \sum_{k=1}^{n-2} \Delta_k - 1 - \frac{\Delta_{b \min}}{\Delta_{a \min}} \\ \Delta_j \geq \Delta_{j \min} \end{cases}$$

эта система неравенств задает интервал возможных значений для новой величины Δ_j , при которых оптимизация будет возможна.

Процесс оптимизации повторяется до тех пор, пока допуски на все детали не будут удовлетворять выбранному уровню точности.

Если полученные допуски выполнимы, а суммарная погрешность не превышает допустимую, то при соблюдении в конструкции ОП и его элементов условий базирования, сборки ОП сведется к соединению, креплению и фиксации соединений и не потребует юстировки.

Рассмотренные процессы оптимизации допусков не предполагают ужесточение всех допусков на изготовление элементов ОП, но лишь рациональное их распределение между элементами и расширение более жестких допусков на отдельные элементы.

В отдельных случаях может возникнуть необходимость введения замыкающего звена – компенсатора накопленных погрешностей, если условие (3) не будет выполняться даже при переходе на более высокий уровень точности. Тем не менее и в этом случае затраты времени на юстировку будут минимизированы и сведены к регулировке компенсатора накопленных погрешностей. Поэтому дополнительных затрат оптимизация допусков не вызовет, но позволит сокра-

тить затраты времени на юстировку, а также исключить из конструкции ОП технологические регулировочные устройства.

Вторая глава также содержит алгоритм сборки ОП с автоматической юстировкой.

Алгоритм технологии сборки ОП с автоматической юстировкой, то есть без операций юстировки, может быть представлен в следующем виде:

- Численная величина допуска на любой из параметров распределяется между элементами всех иерархических уровней, например, по методу *многофакторной оптимизации*.
- Определяется возможность изготовления всех элементов конструкции с погрешностями, не превышающими рассчитанные допуски. Допуски на отдельные элементы, выходящие за пределы возможностей производства, расширяются до приемлемого уровня; соответственно расширяется исходный допуск на параметр, либо ищется возможность применения специальных технических средств, позволяющих выполнить ранее полученные допуски.
- Такая операция проводится по всем параметрам каждого элемента изделия и определяются предельные точностные границы производства изделий данного класса или типа, изготавливаемые без операций юстировки.
- Оцениваются дополнительные затраты в связи с вынужденным ужесточением допусков и применением специальных технических средств для достижения необходимой точности. Эти затраты сравниваются с экономией, получаемой от автоматической юстировки и определяется целесообразность применения технологии без юстировки для данного типа оптических приборов.

Используя рассмотренный алгоритм применения многофакторной оптимизации точностного расчета можно определить границы применения технологии производства ОП с автоматической юстировкой.

Глава включает в себя пример практической реализации автоматической юстировки в производстве.

Третья глава содержит примеры практической реализации автоматизации отдельных операций юстировки, таких как фокусировка, центрировка и пр., предложенные как зарубежными учеными, так и автором диссертации.

Рассмотрена система автофокусировки в приводе оптических дисков, предложенная Xiao Tang. В качестве сигнала обратной связи для автофокусировки используется стандартное отклонение градаций серого от всех пикселей изображения, регистрируемого ПЗС-матрицей.

Во втором примере рассматривается автоматизация юстировки сканера, предназначенного для получения отпечатка пальца, разработанная автором диссертации. Описаны особенности конструкции прибора, позволившие свести процедуру юстировки прибора к минимуму. Приведена математическая модель мира и формулы, позволяющие контролировать такие параметры прибора как центрировка получаемого изображения, фокусировка, геометрические искажения, регулировка яркости поля зрения.

В четвертой главе рассматривается автоматизация юстировки и поверки прибора в целом, после его сборки.

В качестве объекта юстировки в работе детально рассмотрен пример полуавтоматической юстировки сложного высокоточного оптического сканера, предназначенного для получения отпечатков пальцев. Создана математическая модель привязки эталонного элемента (мира) и параметров настраиваемого прибора. Разработаны и показаны примеры эталонов (настроечных мир), служащих для автоматизации юстировочных операций. Приведен метод реализации таких операций, как центрировка изображения, оценка разрешения, фокусировка (на основе измерения функции передачи модуляции), оценка геометрических искажений по полю, отношения сигнал/шум и пр. Рассмотрены основные проблемы, связанные с возможными искажениями измеряемых параметров, такие как поворот изображения и его влияние на точность измерений.

Задачей этого прибора является получение изображения предмета, расположенного в жестко заданной плоскости сканирования (см. оптическую схему на рис. 3).

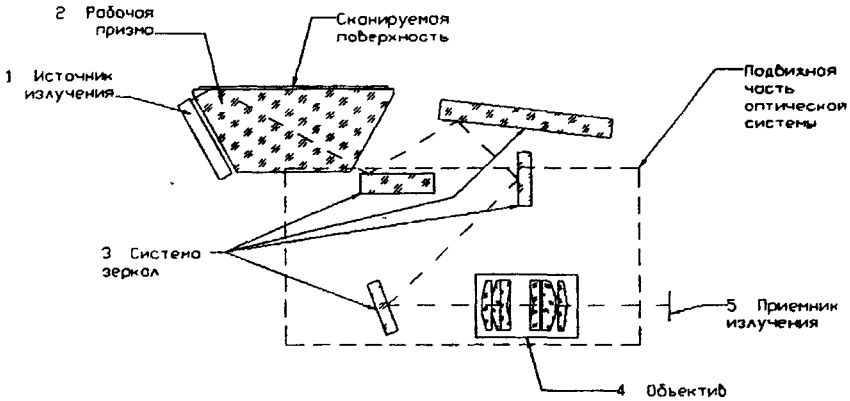


Рис.3. Оптическая схема сканера.

Так как в качестве приемника излучения используется ПЗС-линейка, то для получения полноценного двухкоординатного изображения в приборе применена механическая развертка. Оптическая схема прибора разбивается на две части – подвижную и неподвижную, как показано на рисунке ниже. В результате движения подвижной части сканирующей системы на выходе прибора формируется полноценное двумерное изображение.

Для юстировки сканер подключался к специально созданному компьютеризированному стенду (рис. 4), осуществлявшему моделирование работы прибора в штатном режиме. Юстировочный стенд обеспечивает двусторонний обмен данными между сканером и управляющим устройством через плату сопряжения (плату интерфейса контрольно-проверочной аппаратуры [КПА]).

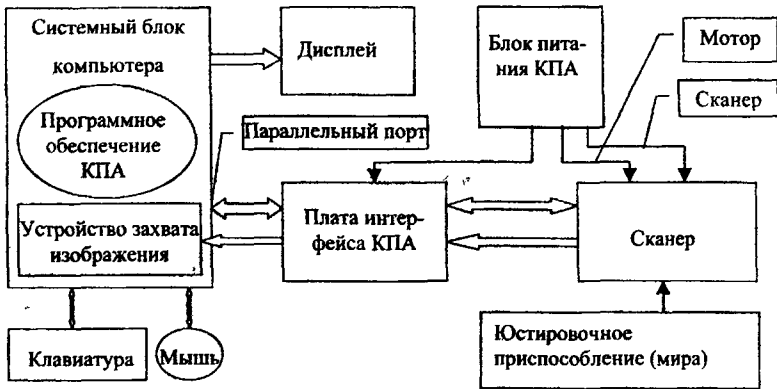


Рис.4. Общий вид стенда контрольно-проверочной аппаратуры

Работа содержит подробное описание реализации взаимодействия сканера и контрольно-проверочной аппаратуры, обеспечивающее юстировку.

Процесс юстировки базируется на анализе изображения, получаемого со сканера. Для анализа положения элементов изображения электронике необходимо задать систему координат в пространстве предмета. Это необходимо для приведения ее в соответствие с системой координат самого прибора, определяемой положением ее механических элементов. Остановимся на этом вопросе поподробнее.

Задание координат в пространстве предмета.

В качестве элементов «привязки» на настроечной мире использовались так называемые реперные элементы – в нашем случае это темные кружки (см. рис. 5). Три точки, представляющие собой центры темных кружков различного размера однозначно задают систему координат в пространстве предметов (центры кружков определяются электроникой автоматически).

Так как имеются погрешности изготовления и базирования узлов и деталей, то неизбежна погрешность установки настроечного оборудования (в нашем случае призмы), что приведет к невозможности для автоматики привязаться к системе координат прибора (найти реперные элементы). Для того, чтобы этого не

произошло, необходимо предусмотреть возможность для автоматике находить реперы и уметь к ним привязываться.

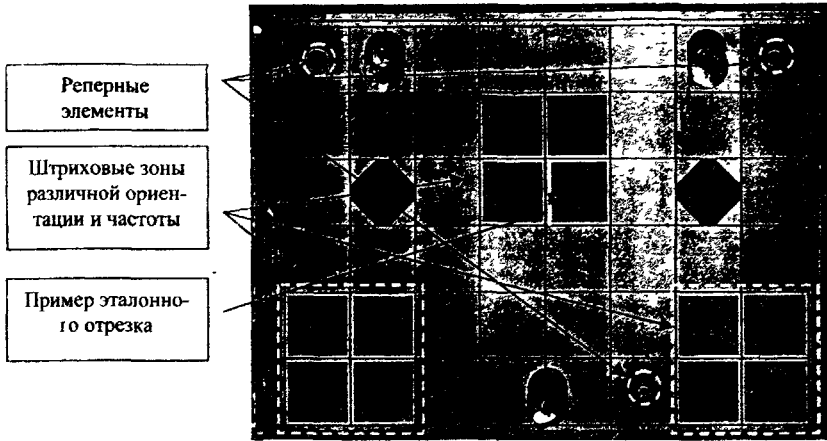


Рис 5. Пример одной из настроечных мир (изображение, полученное на сканере).

Рассмотрим технологию определения центров наших реперных элементов.

Для того, чтобы программа могла «найти» необходимые ей реперные элементы, необходимо задать ей в математической модели зону поиска. Размеры зоны поиска должны превышать размеры реперного элемента так как из-за погрешностей изготовления и базирования узлов и деталей прибора реперные элементы могут перемещаться по рабочему полю прибора. Величина отношения размеров зоны поиска к размерам реперного элемента определяется как геометрией самого реперного элемента, так и общими допусками на прибор и его элементы.

На рисунке 6 приведен фрагмент изображения, полученного на сканере, отображающий один из реперных элементов (в нашем случае черный круг), входящих в настроечную миру (полное изображение мира приведено на рис. 5). Рамка из пунктирной линии отражает зону поиска, внутри которой производится поиск реперного элемента.

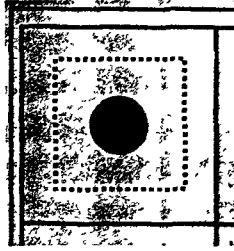


Рис. 6. Фрагмент изображения, полученного на сканере, отображающий один из реперных элементов.

После того, как программа «нашла» реперный элемент (в нашем случае это окружность), ей необходимо определить его центр – так как нам нужна координата точки. Существует множество методов определения центра окружности, в нашем случае используется один из простейших – определение центра тяжести геометрической фигуры. Суть метода заключается в том, что для каждой точки изображения в зоне поиска вводится весовой фактор (значения которого варьируются от 0 до 255), зависящий от ее яркости. После чего вычисляется энергетический центр тяжести в соответствии с формулами

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

где (X_c, Y_c) - координаты центра тяжести реперного элемента, (x_i, y_i) - координаты тосточки реперного элемента, P_i - весовой фактор точки реперного элемента.

Весовой фактор можно вычислять следующим образом:

В зоне поиска реперного элемента определяются максимальное Br_H и минимальное Br_L значения яркости точек. Вычисляется пороговое значение (для приведения изображения к единичному контрасту) $Br_B = \frac{Br_H + Br_L}{2}$, в соответствии с которым каждой точке присваивается весовой коэффициент

$$P_i = \begin{cases} 0 & \text{если } Br_i > Br_B \\ Br_B - Br_i & \text{если } Br_i \leq Br_B \end{cases}$$

После введения весового фактора и приведения картинки к единичному контрасту, наше изображение реперного элемента приобретает следующий вид (см. рис. 7):

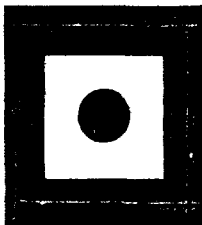


Рис. 7. Вид зоны реперного элемента после введения весового фактора.

Центр реперного элемента определяется с точностью до десятых долей пиксела.

Используя полученную привязку, разработанное программное обеспечение анализирует и корректирует:

- А) *положение получаемого изображения в кадре;*
- Б) *геометрическую точность* (величину геометрических искажений по полю);
- Г) *величину функции передачи модуляции* (Modulation Transfer Function, MTF) для определенных пространственных частот;
- Д) *отношение сигнал-шум* (Signal-to-Noise Ratio);
- Е) *диапазон передаваемых полутонов* («градации серого»);
- Ж) *линейность шкалы передаваемых полутонов;*
- З) *равномерность выходного сигнала.*

В работе содержится детальное описание по автоматизации юстировки вышеуказанных параметров прибора.

Применение разработанного подхода к юстировке позволяет настраивать и контролировать такие параметры прибора, которые при ручной юстировке занимают много времени или попросту не могут быть осуществлены вручную (измерение отношения сигнал/шум, диапазон передаваемых полутонов, равномерность выходного сигнала).

Пятая глава посвящена автоматизации средств контроля. Здесь рассматривается автоматизация контроля качества объективов, предназначенных для использования в оптико-электронных приборах и волоконных оптических жгутов. Рассмотренная автоматизация средств контроля позволяет избавиться от субъективной оценки параметров прибора человеком и получить их объективную оценку, что дает возможность паспортизовать контролируемые параметры приборов. Все приведенные методики апробированы и используются в работе.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Применение компьютерных технологий и метода многофакторной оптимизации точностного расчета позволяют осуществить строгий оптимальный расчет допусков, исключая дополнительную обработку, пригонку и доводку при сборке приборов и минимизировать или полностью исключить юстировку.
2. Автоматическая компьютерная юстировка может быть осуществлена на основе дифференциального метода технологии сборки и юстировки, при котором каждый узел собирается и юстируется отдельно, окончательно в строгом соответствии с требованиями ТУ и устанавливается в прибор без дополнительных юстировочных операций. При соблюдении этих условий юстировка прибора в целом исключается либо ограничивается единичными замыкающими операциями.
3. При юстировке отдельных узлов также эффективно применение компьютерной технологии, а в некоторых случаях компьютерная юстировка является единственным средством для достижения необходимой точности.
4. Применение высокоточных специализированных измерительных и индикаторных средств также способствует осуществлению автоматической компьютерной юстировки.
5. Экономические затраты на осуществление автоматической юстировки окупаются высвобождением средств от исключения юстировки прибора в

целом. Кроме того, автоматическая компьютерная юстировка способствует повышению качества изделий, либо позволяет достигнуть массовости выпуска в случае такой необходимости.

6. Разработана концепция и метод автоматизации процесса контроля и юстировки высокоточных сканирующих приборов, основанный на анализе получаемого изображения, включающего в себя реперные элементы.
7. В экспериментальной части диссертации осуществлена автоматическая компьютерная юстировка цифрового сканера, при которой выполнены весьма тонкие операции юстировки и контроля, не выполнимые без компьютера.
8. Таким образом, показана состоятельность идеи компьютерной (автоматической) юстировки, как средства оптимизации операции юстировки в приборостроении.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Иванов К.А. Компьютерная оптимизация юстировки оптических приборов // тезисы докладов юбилейной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 100-летию СПбГИТМО(ТУ). – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2000 - Ч.1., С. 9-10.
2. Сухопаров С.А., Иванов К.А. Компьютерная автоматизированная юстировка оптических приборов // Оптический журнал. – 2001. №1. – С. 76-78.
3. Иванов К.А. Автоматизация контроля и юстировки сканирующих систем // Сборник статей I конференции молодых ученых и специалистов СПбГУ ИТМО. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004 (в печати).
4. Иванов К.А., Сухопаров С.А. Точностные границы автоматической компьютерной юстировки // Приборостроение, 2004. (в печати).
5. Иванов К.А. Компьютерный контроль и юстировка дактилоскопических цифровых сканирующих систем // Сборка в машиностроении, приборостроении. – Изд-во "Машиностроение", 2004 (принято к печати).



05.09-05.11

РНБ Русский фонд

2006-4

8550

Тиражирование и брошюровка выполнены в
Центре «Университетские телекоммуникации».
Санкт-Петербург, Саблинская ул., 14. Тел. (812) 233-46-69.
Тираж 100 экз.

05 МАР 2004