

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ И ТЕХНИЧЕСКОЙ
ПОЛИТИКИ РОССИИ

Томский политехнический университет

На правах рукописи

Удуг Дмитрий Леонидович

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
ДЛЯ ПОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРЕЛОЧНЫХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Специальность 05.11.05 – приборы и методы измерения
электрических и магнитных величин

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 1992

Работа выполнена на кафедре «Радиотехника» Томского политехнического университета

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Ройтман М.С.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Вавилов В.П.

кандидат физико-математических наук
Надеев А. И.

Ведущее предприятие: научно-исследовательский институт
«Автоматика» (г. Екатеринбург).

Защита диссертации состоится 23 декабря 1992 г. в 17 часов на заседании диссертационного Совета Д 063.80.05 в Томском политехническом университете по адресу: г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке университета.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Б. Б. Винокуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Современный этап перехода промышленности России к рыночным отношениям, интеграция в мировой рынок промышленной продукции подчеркивает актуальность проблемы контроля качества производимых изделий, что относится и к производству изделий приборостроения. Выпуск конкурентно-способной на мировом уровне продукции предполагает решение целого ряда вопросов по совершенствованию технологических процессов ее производства и контроля качества. С учетом этого вопросы автоматизации поверочных и контрольных работ при выпуске измерительных приборов приобретают важное значение, что в первую очередь относится к стрелочным приборам, так как для цифровых измерительных приборов вопросы автоматизации с применением средств вычислительной техники решаются довольно успешно.

Работы, связанные с созданием полуавтоматических и автоматических поверочных установок в нашей стране и за рубежом проводятся более 30 лет. Разработки, реализующие полуавтоматические способы поверки стрелочных приборов (СП), нашли широкое применение при их производстве и эксплуатации. В этой связи необходимо отметить работы сотрудников ВНИИМа Безикович А. Я., Прицкер В. И., Эскина С. П. Оригинальные способы и устройства для автоматической поверки и градуировки электроизмерительных СП предложили Хохлов Ю. А., Мишин В. А., Корольков Ю. В., Ищенко В. А., Ройтман М. С., Свинолулов Ю. Г., Минц М. Я., Минченков П. В. и др. Большие наработки в области способов и устройств для автоматической поверки СП, использование новых технологий при их производстве и широкие возможности по использованию современной вычислительной техники и технического зрения делают реальным создание измерительных систем для автоматической поверки СП в настоящее время. Несмотря на это вопрос разработки автоматизированных поверочных и градуировочных установок и внедрение в производство во многом остается открытым. Это объясняется тем, что существующие и эксплуатирующиеся на ряде предприятий автоматические поверочные комплексы обладают следующими недостатками: ориентация на поверку приборов конкретного типа или устройства; неуниверсальность по отношению к шкалам приборов; сложность перенастройки на новый тип приборов; низкий класс точности поверяемых или градуируемых приборов. В данной работе рассматриваются вопросы метрологической аттестации подобных измерительных систем, разработки формирователей калиброванных воздействий с программным управлением, использования современных подходов в применении аппарата математической статистики для повышения качества измерительной информации. Развитие существующих

автоматизированных измерительных установок на сегодняшний день решается по следующим направлениям:

1. Создание новых принципов организации компьютерных измерительных комплексов, в первую очередь интенсивно развивающегося направления обучающихся или интеллектуальных измерительных систем;
2. Использование современного аппарата математической статистики при обработке результатов измерений для повышения точности;
3. Разработка и использование новых способов обработки изображений, ориентированных на прецизионные измерения для поверки СП;

Таким образом, тема реферируемой работы, посвященной исследованию состояния в области автоматизации поверочных и градуировочных работ, разработке новых способов и устройств для автоматической поверки и градуировки СП, созданию автоматизированных обучающихся компьютерных комплексов для поверки и контроля качества СП является актуальной. Работа выполнена в рамках хоздоговорных работ и в соответствии с отраслевыми программами по автоматизации.

Целью работы является создание автоматизированных комплексов для поверки, контроля качества и градуировки СП на, основе разработки новых способов автоматической поверки и градуировки для обучающихся автоматизированных компьютерных комплексов, алгоритмической организации их работы и создания новых технических средств. Для этого решаются следующие задачи:

1. Анализ производства и степени автоматизации поверки, градуировки СП на предприятиях-изготовителях и поверочных лабораториях;
2. Разработка способов автоматической поверки и градуировки СП, обеспечивающих высокое качество и достоверность измерительной информации, универсальных к различным типам СП;
3. Разработка алгоритмического обеспечения способов автоматической поверки и компьютерных комплексов, обеспечивающих быструю перенастройку на новый тип СП, высокую скорость, качество поверки;
4. Разработка новых аппаратных и программных средств автоматизированных компьютерных комплексов;
5. Анализ погрешностей и экспериментальные исследования разработанных способов автоматической поверки, градуировки СП и созданных на их основе компьютерных измерительных комплексов с выдачей рекомендаций по их практическому применению;
6. Метрологическая аттестация компьютерных измерительных комплексов с использованием разработанных и утвержденных методик.

Методы выполнения исследований. Теоретическая часть работы выполнена с использованием методов: теории вероятности и математической статистики; теории распознавания; теории управления; теории погрешности. Достоверность полученных научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена экспериментальными исследованиями, опытной эксплуатацией созданных автоматизированных обучающихся компьютерных комплексов на предприятиях-изготовителях СП.

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что;

1. Разработаны принципы организации компьютерных измерительных систем, экспериментально проверены способы автоматической поверки и градуировки СП, обладающее высокой помехозащищенностью, точностью, универсальностью к различным типам СП: с круговой или секторной шкалой, типовой или индивидуальной градуировкой;

2. Проведен теоретический анализ и практические исследования погрешностей разработанных компьютерных комплексов;

3. Разработаны подходы к метрологической аттестации компьютерных обучающихся комплексов и методики их метрологической аттестации, прошедшие утверждение в органах Госстандарта;

4. Разработано алгоритмическое обеспечение обучающихся компьютерных комплексов для автоматической поверки СП

Практическая ценность работы состоит:

1. В разработке и внедрении автоматизированных обучающихся компьютерных комплексов на базе современных средств вычислительной техники, технического зрения и прикладного программного обеспечения для поверки и контроля качества СП, а также технических средств комплексов;

2. В разработке утвержденных в органах Госстандарта методик метрологической аттестации обучающихся компьютерных комплексов;

3. Показана возможность использования разработанных измерительных систем в виде учебно-методического комплекса для обучения студентов специальности 19.07.03.

Реализация результатов работы. Диссертационная работа выполнена в рамках хоздоговорных тем с предприятиями г. Москвы г. Омска, г. Томска, с фирмой «Lumel» (Польша). Образцы поверочных комплексов находятся в опытной эксплуатации на ряде предприятий, в частности на Томском ПО «Манотомь», Омском ПО «Электроточприбор», московском НИИ ДАР, НИИ АВТОМАТИКА г. Екатеринбурге. На базе разработанных комплексов поставлен цикл лабораторных работ для студентов электро-физического факультета ТПУ. Одна из разновидностей обучающегося компьютерного комплекса демонстрировалась на тематической выставке "Поверка-87" и была удостоена серебряной медали.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены и обсуждены на Втором Всесоюзном совещании по точным методам измерения напряжения, тока и мощности (Санкт-Петербург, 1986), Республиканской научно-технической конференции "Использование микропроцессоров в народном хозяйстве" (Таллин, 1988), Всесоюзной конференции ИИС-89 (Ульяновск), Третьей и Четвертой Научно-практической конференции "Неразрушающие методы контроля на службе повышения качества продукции и экономии ресурсов" (Томск, 1986, 1989), Второй Всесоюзной конференции "Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов" (Барнаул, 1991), научных семинарах кафедры радиотехники Томского политехнического университета.

Основные положения, выносимые на защиту;

1. 1 Возможно создание автоматизированных компьютерных измерительных комплексов с элементами распознавания изображения для метрологических целей - поверки и градуировки СП, на основе способов автоматической поверки СП с типовыми и индивидуальными шкалами, с коррекцией погрешности от угловых и линейных перемещений СП, способа повышения точности за счет фильтрации помех, способов автоматической поверки группы приборов и автоматической градуировки СП;

2. Результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований способов автоматического считывания показаний со шкалы СП, звеньев аппаратуры компьютерных измерительных комплексов показали их высокие метрологические свойства;

3. Предложены новые технические решения по разработке аппаратной и программной частей обучающихся компьютерных комплексов;

4. Предложены методики метрологической аттестации компьютерных комплексов для автоматической поверки и контроля качества СП.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 работ, получено 1 авторское свидетельство и 1 положительное решение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 117 наименований и пяти приложений; содержит 167 страниц машинописного текста, 41 рисунок и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, цель диссертационной работы и основные задачи, решаемые при ее выполнении.

В первой главе проведен анализ производства и эксплуатации СП, степени автоматизации их поверки и градуировки, на основе

существующих решений по автоматической поверке и градуировке СП.

Проведен анализ погрешностей наиболее перспективных с точки зрения автоматизации технических решений для поверки и градуировки СП, эти решения сгруппированы по основным признакам:

1. С устройствами на неоптических физических эффектах;
2. С оптико-механическими следящими системами;
3. С устройствами, использующими в качестве датчиков серийные или специализированные телевизионные датчики изображения.

Последнюю группу можно разделить на два класса:

1. С устройствами считывания показаний, ориентированными на использование примитивных вычислителей на базе телевизионных датчиков со строчно-кадровой, круговой и специальной разверткой;
2. С устройствами считывания показаний на базе, современных систем технического зрения (СТЗ), использующих полное или выборочное считывание изображения СП, программную его обработку и выделение штрихов отметок и стрелочного указателя.

Автоматические установки для поверки и градуировки СП на основе современных СТЗ являются наиболее перспективными в области автоматизации поверки СП. Подобный вывод позволяет сделать анализ достижений в сфере автоматизации поверки и градуировки СП, проведенный на основе существующих решений устройств автоматического считывания показаний и созданных на их базе поверочных установок. Создание интеллектуальных измерительных систем на базе СТЗ с обучением, со специальным адаптивным программным обеспечением, использованием аппарата математической статистики для обработки результатов измерений с целью повышения качественных показателей поверки СП и др. идет по пути решения следующих задач:

1. Создание алгоритмического обеспечения функционирования подобных систем, обеспечивающего высокое качество результатов измерений, т.е. достоверность, стабильность, повторяемость;
2. Создание простых задатчиков тестовых сигналов с программным управлением и алгоритмов их функционирования, позволяющих за счет компьютеризации решать вопросы коррекции погрешности;
3. Создание универсальных способов автоматического считывания показаний со шкалы СП на базе средств технического зрения;
4. Создание универсальных схемных решений системной связи ЭВМ с ТВ камерой, легко адаптирующихся к различным микро-ЭВМ;
5. Повышение производительности поверки за счет работы с группой СП и точности за счет набора и обработки статистики;
6. Разработка методик, технических средств и алгоритмического обеспечения метрологической аттестации измерительных систем.

Во второй главе разработаны способы и алгоритмы автоматической

поверки и градуировки СП, ориентированные на создание обучающихся компьютерных комплексов с использованием СТЗ, Способы реализуют концепцию обучающихся измерительных систем и включают два этапа: обучение и поверку. Обучение является необходимым условием функционирования комплексов и ставит своей задачей формирование необходимой информации для проведения поверки. Сюда входят оптимальные значения вектора параметров \bar{c} , составляющими которого являются размеры a, b обрабатываемого изображения, значение порога бинаризации P , коэффициента корреляции ρ , число повторений ввода изображений s и др., а также формирование связывающей угол отклонения указателя и показания СП аналитической зависимости в виде полинома F степени m . Алгоритм обучения представлен в виде решающего правила f при нахождении вектора параметров \bar{c} в допустимой зоне

$f = f_3(f_2(f_1(f_0(a, b, s, P), \rho), [A]), m, n) | \bar{c} \in \bar{c}_{доп}$,
 где $f_0(a, b, s) = D(x, y)$ - формирование сигнала дискретного изображения кадра (a, b) и числа экспозиций s ;
 $f_1(f_0(a, b, s), P) = f_1(D(x, y), P) = \{X, Y\} : (x, y) \in \{X, Y\}$,
 если $D(x, y) \geq P$;
 $f_2(f_1, \rho) = f_2(\{X, Y\}_0 - \{X, Y\}_1, \rho) = [\varphi_0, \varphi_1]$ - углы наклона указателя;
 $f_3(f_2[A], m, n) = \sum_{j=1}^n A_{1j} (\varphi_0 - \varphi_j)^{j-1} - \Pi$ - показания СП, где $j=1, \bar{n}$ - число отметок шкалы. Процесс формирования вектора параметров $\bar{c} = \{a, b, s, P, \rho, [A]\}$ является итерационной процедурой

$$C_{ik} = C_{ik-1} + \Delta C_i(\bar{c})$$

которая заканчивается при минимизации случайной составляющей погрешности, например дисперсии, при упорядоченном изменении значений выбранного параметра (см. табл. 1)

$$\bar{C}(C_i) = M \left(\sum_{j=1}^n f_j(C_i) / N - f_i(C_i) \right)^2 \rightarrow \min$$

Критерием качества обучения является выполнение некоторого условия при проведении контрольной выборки с заданной доверительной вероятностью, например

$$(1/n) * \sum_{j=1}^n (F_i - A_i) \leq e_1,$$

$$(1/n) * \sum_{j=1}^n (F_i - A_i)^2 \leq e_2,$$

$$\{ \max |F_i - A_i| \} \leq e_3$$

или вероятностные критерии

$$P \{ |(A_i - f(V_i, C))| \leq e \} \geq P_{доп}$$

где V_i - предъявляемые реализации контрольной выборки. Поверка выполняется на основе полученной на этапе обучения информации.

Положение указателя однозначно определяется углом наклона его линии симметрии.

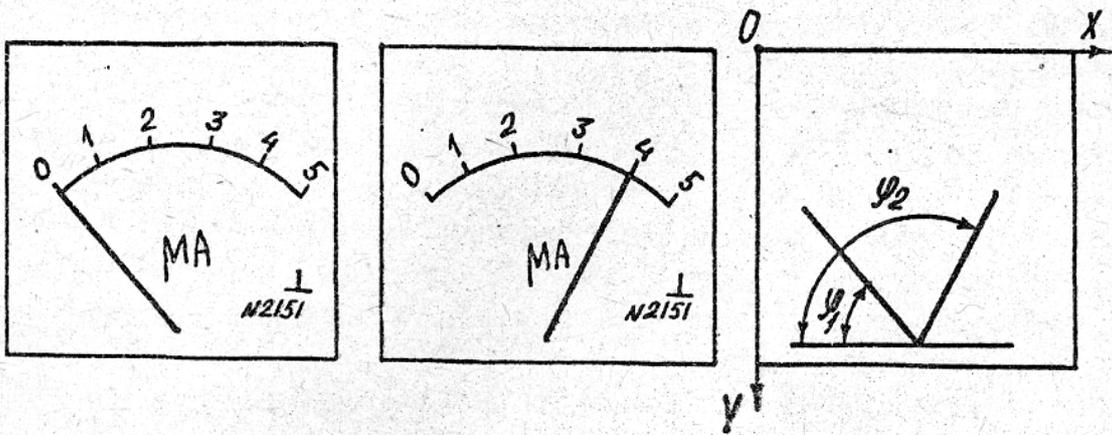


Рис. 1

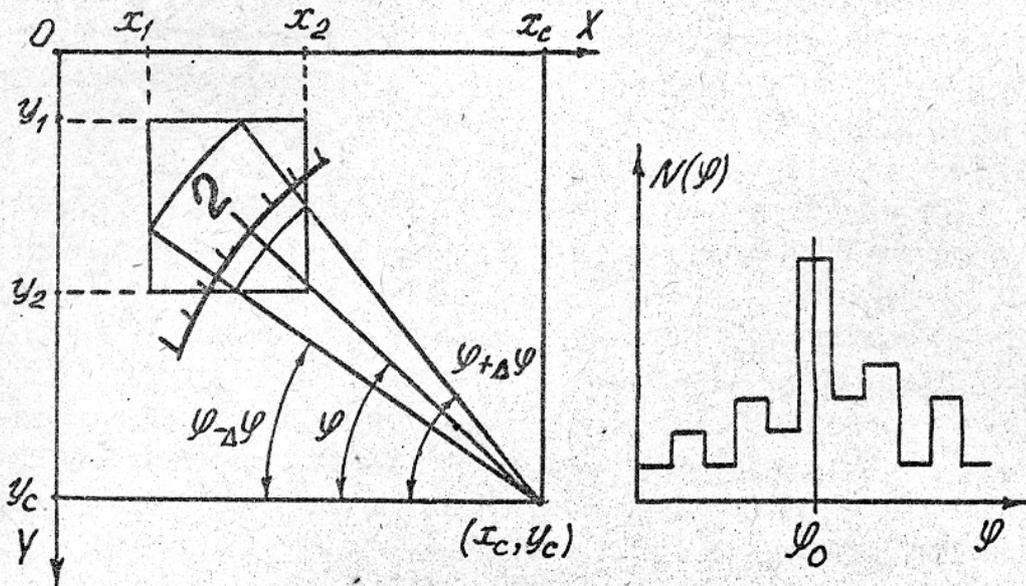


Рис. 2

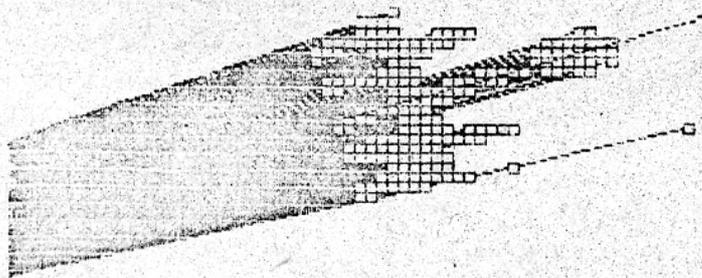


Рис. 3

Способ автоматической поверки СП (см. рис. 1) с типовыми шкалами основан на поэлементном вычитании дискретных изображений одинакового формата $D1(x, y)$ и $D2(x, y)$, соответствующих разным положениям указателя с получением разностного $R(x, y)$, содержащего только сигналы изображений указателя. Если $R(x, y)$ является полутоновым, он сравнивается с пороговым уровнем P с формированием массивов информативных реализаций сигнала $\{x1, y1\}$ и $\{x2, y2\}$, обрабатывая которые по МНК рассчитывается угол наклона средней линии указателя в системе координат телевизионного раstra

$$\varphi = \arctg \left\{ \frac{\overline{x * y} - \bar{x} * \bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \right\}.$$

В способе автоматической поверки СП с индивидуальной градуировкой шкалы определяется положение поверяемой отметки. Для этого анализируются сигналы изображений, содержащие отметки шкалы (см. рис. 2) для чего сканируют из рассчитанного центра вращения указателя (x_c, y_c) по углу вдоль радиуса с получением гистограммы распределения информативных реализаций сигнала (см. рис. 3). За угол наклона линии, проходящей через центр вращения указателя и числовую отметку шкалы, принимается угол φ_0 с максимальной суммой информативных реализаций сигнала изображения (см. рис. 4)

$$\varphi_0 = \{\varphi_i : N(\varphi_i) \rightarrow \max\}.$$

В способе автоматической поверки СП с компенсацией погрешности от угловых и линейных перемещений СП на этапе обучения устанавливают аналитическую связь λ_r между угловыми и линейными перемещениями СП относительно базового положения и погрешностью. Для этого СП последовательно смещают шагами по координатам X, Y относительно базового положения СП (см. рис. 5), затем поворачивают вокруг вертикальной и горизонтальной осей. Полученная аналитическая зависимость позволяет при поверке скорректировать показания СП с учетом возникших угловых (φ_v, φ_g) или линейных перемещений (x^*, y^*)

$$A_{ikop} = A_i + \lambda_r (\varphi_v, \varphi_g, x^*, y^*)$$

Способ повышения точности автоматической поверки СП за счет фильтрации помех заключается в идентификации и устранении сигналов помехи, наличие которых приводит к ошибочному определению по МНК положения указателя. Критерием наличия сигнала помехи может служить коэффициент корреляции ρ между информативными реализациями сигнала изображения, который для прямой линии равен единице. Это утверждение позволяет, осуществляя простой перебор элементов массива $\{x_i, y_i\}$ и вычисляя ρ , определить реализации сигнала, резко менявшие значение ρ от заданного, оставляя при этом реализации сигнала, между которыми имеется линейная зависимость - указатель.

Способ автоматической поверки группы СП позволяет повысить

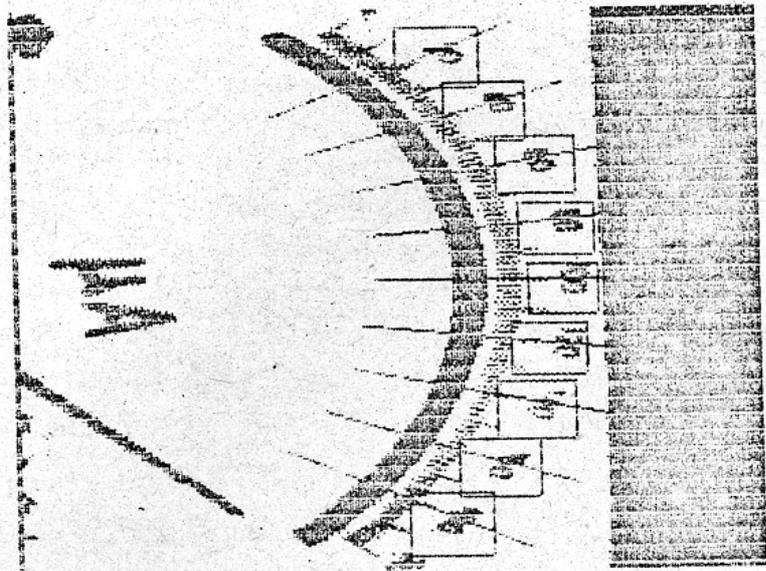


Рис. 4

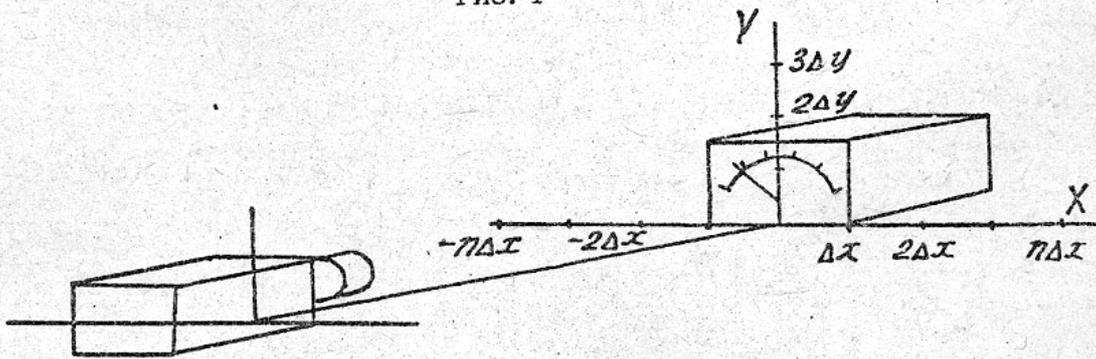


Рис. 5

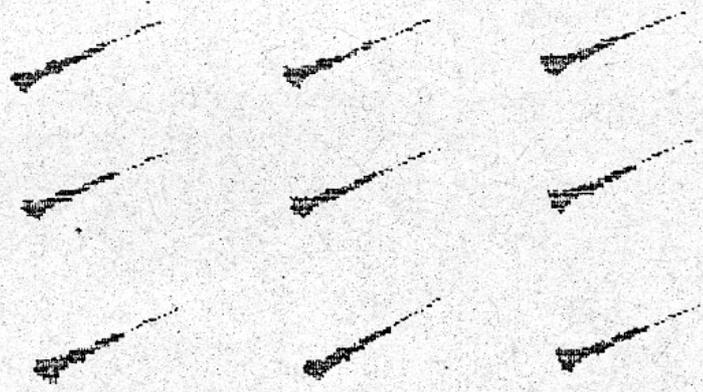


Рис. 6

производительность поверки СП с типовыми и индивидуальными шкалами. Цель способа достигается тем, что в поле зрения телевизионного датчика устанавливается не один, а несколько приборов. На рис.6 представлен результат распознавания указателей группы из 9 СП.

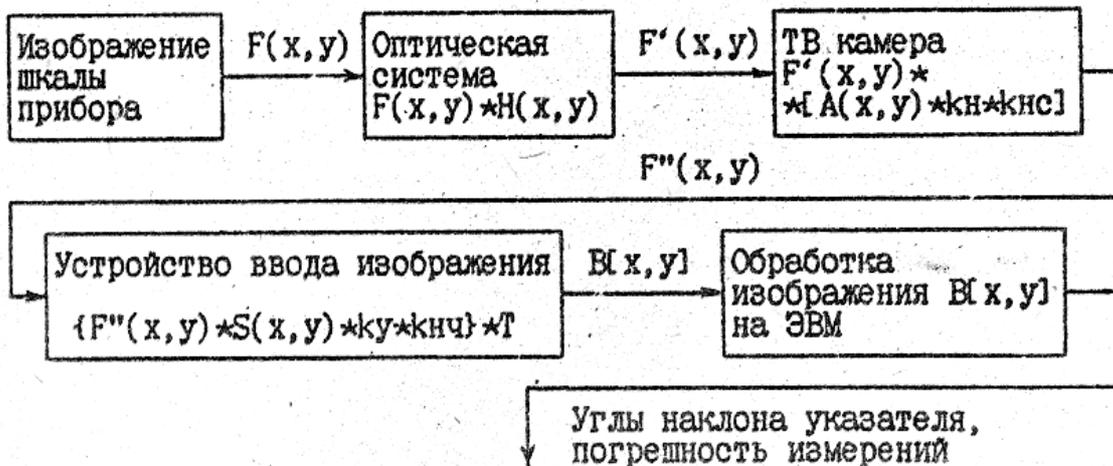
Разработанные способы автоматической поверки допускают градуировку СП, которая может быть выполнена без вычитания сигналов изображений исходного и текущих положений указателя, если на СП насаживается шкала без надписей. Получаемый массив углов наклона указателя передается на шкалограф, который производит прорисовку шкалы. Возможен способ разбраковки готовых СП по кассам точности или выбор типа печатной шкалы.

Рассмотрены алгоритмы поверки и градуировки, распознавания указателя и фильтрации помех, оптимального выбора порога бинаризации, повышения точности измерений.

В третьей главе проанализирована структура измерительного канала компьютерных комплексов (см. рис.7). Составляющие погрешности измерений можно разделить на две независимые группы:

1. Погрешности, вносимые аппаратурной частью комплексов;
2. Погрешности, присущие способам автоматической поверки СП.

Первую группу составляют погрешности, вносимые устройством предварительной обработки и ввода изображения в ЭВМ (УВИ) и ТВ камерой. Результаты анализа наиболее существенного фактора - нестабильности тактовой частоты УВИ, на абсолютную погрешность положения указателя для различных углов приведены в таблице 1. Экспериментальные исследования показали высокую стабильность УВИ. Случайная и систематическая составляющие погрешности измерений угла наклона средней линии указателя за счет ТВ камеры обусловлены ошибками в передаче координат и градационной информации ТВ камер на видеконах. Устранение систематической составляющей, обусловленной в основном нелинейностью раstra, производится на этапе обучения операцией калибровки аппаратурной части. Случайная составляющая погрешности возникает за счет случайной составляющей координатных ошибок раstra, снижение влияния которых достигается многократными измерениями и их статистической обработкой, для чего УВИ выполняет функции видеопроцессора. Использование логических процедур при накоплении и обработке ТВ кадров приводит к снижению более чем в два раза доверительного интервала распределения случайной составляющей погрешности по сравнению с однократными измерениями. Разброс случайной составляющей угла наклона составляет от 0,15 до 0,6 градуса. Приведены рекомендации по снижению погрешностей, например для стабилизации тактовой частоты - использование кварцевых резонаторов и фазовой автоподстройки частоты.



$H(x, y)$ - действие оптической системы объектива;
 $A(x, y)$ - апертурная характеристика телевизионной камеры;
 kn - коэффициент нелинейности тока отклонения;
 $knс$ - коэффициент нестабильности раstra камеры;
 $S(x, y)$ - дискретизирующая функция;
 ku - коэффициент усиления;
 $knч$ - коэффициент нестабильности частоты;
 T - функция бинаризации видеосигнала.

Рис. 7

Таблица 1

Порог бинаризации	Угол наклона указателя, град.	Дисперсия, град.
120	135,84	0,091
125	135,88	0,063
130	135,85	0,014
135	135,86	0,021
140	135,87	0,035

Таблица 2

$\Delta \varphi \backslash \Delta f_T$	-3 %	-2%	-1%	1%	2%	3%
20 град	0,56	0,37	0,19	-0,18	-0,36	-0,54
45 град	0,87	0,57	0,28	-0,29	-0,57	-0,85
70 град	0,55	0,34	0,18	-0,18	-0,37	-0,55

Среди погрешностей, присущих способам автоматической поверки СП выделены следующие: от смещения СП относительно ТВ камеры; от квантования изображения; погрешность от формы записи уравнения шкалы; погрешность определения координат числовой отметки шкалы. Для анализа погрешности смещения СП относительно ТВ камеры перемещения прибора были разделены на линейные и угловые. Линейные перемещения при идеальном растре не влияют на погрешность измерений. В случае реального растра ТВ камер на видеконах данная погрешность определяется нелинейностью развертки камеры. Экспериментально получены зависимости погрешности от величины смещения, которая не превысила 0,1% при смещениях до 15 мм. Аналогичное влияние оказывает нелинейность растра на угловые повороты СП в оптической плоскости ТВ датчика. Для остальных возможных поворотов СП получено выражение относительной погрешности определения угла наклона указателя СП с типовыми шкалами. Теоретический анализ и практические исследования показали, что погрешность при поворотах до 5 градусов не превышает 0.1%. Получено выражение для относительной погрешности угла наклона средней линии указателя от геометрических параметров СП с индивидуальной градуировкой и удаления его от ТВ камеры

$$\Delta\varphi/\varphi = (180 * a * \operatorname{tg}[\alpha + \operatorname{arctg}\{a * \operatorname{tg}\alpha / (L - a)\}]) / (\Pi * R * \varphi) ,$$

где R - длина стрелочного указателя;

φ - угловой диапазон шкалы СП;

a - расстояние между указателем и шкалой;

α - угловой поворот прибора по одной из осей.

При анализе погрешности от квантования было получено выражение, связывающее погрешность угла наклона средней линии указателя с параметрами квантования Δx и Δy , ширины указателя N_x , N_y и его угла наклона $\varphi = \operatorname{arctg}(a)$

$$\Delta\varphi = \left[(2\bar{x} * a - \bar{y}) * \Delta x \right] / \left[(1 + a^2) * (\bar{x}^2 - (\bar{x})^2) * \sqrt{3N_y} \right] + \\ + \left[-\bar{x} * \Delta y \right] / \left[(1 + a^2) * (\bar{x}^2 - (\bar{x})^2) * \sqrt{3N_y} \right]$$

по которому был сделан вывод о допустимости выбора частоты квантования в направлении телевизионной строки в УВИ, равной 12 МГц.

Необходимость расчета центра вращения указателя с учетом влияния нестабильности ТВ растра и передачи градационной информации видеосигнала, приводит к погрешности определения центра вращения указателя по полученным прямым $y = a_i * x + b_i$. Абсолютная ошибка определения координат i -той числовой отметки шкалы относительно центра вращения указателя находится из соотношения

$$\Delta\varphi \approx \operatorname{arctg} \left\{ (a_i * x_c + b_i - y_c) / \sqrt{a^2 i + b^2 i} \right\} / l$$

где l - расстояние от центра вращения указателя до отметки;
 x_c, y_c - координаты центра вращения указателя. Расчетные значения данной погрешности совпадают с полученными экспериментально и составляют сотые доли %.

Погрешность определения показаний СП на этапе поверки обусловлена использованием тех или иных математических подходов при получении аналитически зависимости угла поворота стрелочного указателя и показаний СП на этапе обучения. При использовании адаптивной аппроксимаций точность расчета показаний СП определяется числом отрезков аппроксимации и степенью полинома. Получаемый аппроксимант приводит к систематической погрешности на обученных отметках шкалы. Например, для двух отрезков аппроксимации и второй степени аппроксимирующего полинома максимальная, погрешность составила 0,4%. Избежать систематической составляющей погрешности можно при использовании интерполяции, для которой предложены удобные для представления в ЭВМ формы записи.

Проанализирована потенциальная точность разработанных способов автоматической поверки с учетом всех дестабилизирующих факторов, присущих ТВ камерам на видеконах. В качестве критерия потенциальной точности была выбрана разрешающая способность, характеризуемая минимальным углом устойчивого определения изменения положения указателя, которая составила 0,03 градуса.

В четвертой главе приведены практические результаты по разработке автоматизированных обучающих комплексов для автоматической поверки и контроля качества СП, аппаратных и программных средств, обеспечивающих функционирование комплексов.

Компьютерный комплекс для поверки приборов измерения тока (см. рис. 8) выполнен на базе ЭВМ "Искра-1030" и использует в своем составе калибратор тока ПЗ21. Комплекс осуществляет одновременную поверку группы из четырех приборов класса 0.5-1.0 серийной камерой КТП-82. Время поверки группы приборов по 5 точкам при прямом и обратном ходе составляет 3 минуты.

Компьютерный комплекс для поверки и градуировки щитовых СП измерения тока класса 1.0 - 4.0 (см. рис. 9) использует ЭВМ IBM PC/AT/XT. Комплекс осуществляет одновременную поверку (градуировку) группы из 16 приборов. В качестве задатчика калиброванных воздействий используется специализированный формирователь тока с программным управлением, выполненный на двух ЦАП с выходным усилителем мощности. Цифровой вольтметр В7-34А контролирует величину тока, измеряя падение напряжения на образцовом резисторе. Время поверки на 5

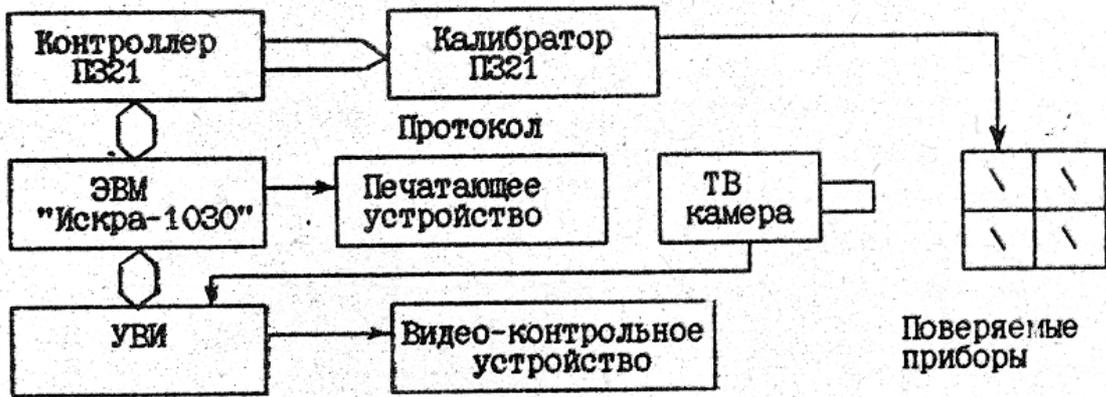


Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10

точках для ЭВМ IBM PC/AT и группы из 9 приборов при прямом и обратном ходе занимает 1 минуту, а градуировки для 26 точек - 2 минуты.

Компьютерный комплекс для поверки и разбраковки по классам точности стрелочных манометров (см. рис. 10) предназначен для работы с группой манометров из 9 приборов диаметром 100 мм и 4 приборов диаметром 160 мм. Комплекс работает как с ручной подачей давления, так и с калибратором давления, в качестве которого может быть использован формирователь давления с программным управлением.

Разработаны специализированные формирователи напряжения и тока с программным управлением, реализующие концепцию агрегатированных источников калиброванных воздействий. В области манометрии разработаны простые формирователи давления с программным управлением, величина давления которых контролируется образцовым цифровым манометром, включенным в магистраль ЭВМ. Разработано УВИ формата 512x256, характеризующееся записью видеоданных в буферную память в темпе поступления, программной установкой порога бинаризации и фрагмента вводимого изображения, универсальностью к различным ЭВМ, возможностью выполнения функций, видеопроцессора и отвечающее всем требованиям обучающихся систем. Программное обеспечение компьютерных комплексов построено по модульному принципу, что позволяет перенастраивать комплексы под различные варианты поверки в зависимости от типов поверяемых СП и конфигурации аппаратуры комплексов

В пятой главе показано решение проблемы метрологической аттестации автоматизированных обучающихся поверочных комплексов, обусловленной отсутствием нормативной документации на аттестацию подобных измерительных систем. Разработанные методики аттестации утверждены в органах Госнадзора и реализуют два подхода:

1. Метрологическая аттестация по образцовому прибору;
2. Метрологическая аттестация по результатам обучения.

Оба подхода основываются на наборе и обработке статистических данных результатов измерений. В качестве определяемых метрологических характеристик могут быть представлены:

1. Основная погрешность;
2. Систематическая составляющая основной погрешности;
3. Случайная составляющая основной погрешности.

Для метрологической аттестации по образцовому прибору был изготовлен прибор, обобщающий геометрические свойства поверяемых СП и их шкал. Привод указателя прибора осуществлялся от ЭВМ через шаговый двигатель и безлюфтовый редуктор с мягкой напряженной шестеренчатой передачей. Образцовый прибор аттестован классом 0,011.

При метрологической аттестации по результатам обучения использовались имитаторы приборов на базе серийных СП с ручным управлением.

Систематическая составляющая основной погрешности определяется как среднее значение относительного смещения средних значений \bar{S} положения стрелочного указателя для K статистик порядка N в доверительном интервале $P_d = 0,95$. При этом, в случае аттестации по образцовому прибору, указатель последовательно устанавливается на отметку шкалы, а при аттестации по результатам обучения указатель остается неподвижным, и определение систематической составляющей погрешности ведется относительно нулевой статистики.

Случайная составляющая основной погрешности определяется как максимальное значение половины диапазона от минимального- S_{min} до максимального S_{max} значений углов наклона стрелочного указателя на i -той отметке шкалы, представленной статистикой порядка N в доверительном интервале $0,95$

$$\Delta_{сл} = \max \{0,5*(S_{max} - S_{min})/360\} * 100\% \mid P_d = 0,95.$$

Основная погрешность комплексов находится как сумма, систематической и случайной составляющих основной погрешности.

В приложении 1 приведена принципиальная схема устройства, предварительной обработки и ввода изображения в ЭВМ.

В приложении 2 приведена принципиальная схема специализированного формирователя напряжения (тока).

В приложении 3 приведены распечатки программ обучения, поверки.

В приложении 4 приведены утвержденные в органах Госстандарта акты и методика метрологической аттестации поверочных установок.

В приложении 5 приведены документы, подтверждающие внедрение и использование результатов диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основании проведенного анализа находящихся в эксплуатации установок для автоматической поверки, контроля качества и градуировки СП показана перспективность построения обучающихся компьютерных комплексов с применением СТЗ на базе серийных ТВ камер с строчно-кадровой разверткой.

2. Разработаны способы автоматической поверки и градуировки СП с типовыми и индивидуальными шкалами, инвариантные к форме и числу шкал СП, обладающие хорошей помехозащищенностью, возможностью компенсации показаний приборов с учетом их перемещений.

3. Проанализирована структура измерительного канала поверочных

комплексов, выявлены составляющие погрешности, проведен их теоретический анализ и экспериментальные исследования, сформулированы рекомендации по снижению погрешностей.

4. Рассмотрены варианты построения формирователей тестовых сигналов на основе агрегатирования с использованием серийных и специализированных программноуправляемых измерительных средств.

5. Разработано устройство предварительной обработки и ввода изображения в ЭВМ, отвечающее требованиям обучающихся систем и возможностью выполнения функций видеопроцессора.

6. Разработаны и внедрены автоматизированные обучающиеся комплексы для поверки, контроля качества и градуировки СП.

7. Разработаны и утверждены методики метрологической аттестации обучающихся компьютерных комплексов. Проведены метрологические испытания комплексов в условиях производства подтвердившие их высокие метрологические качества.

Основное содержание работ отражено в следующих публикациях:

1. А. С. N 1383242 (СССР). Способ автоматической поверки стрелочных измерительных приборов и устройство для его осуществления. /Свинолулов Ю. Г., Удут Д. Л. и др. - Оpubл. в Б. И., 1988, N11.

2. Удут Д. Л., Плотников А. Н., Макаренко Б. Г. Телевизионная установка для автоматического считывания показаний стрелочного прибора. / Тез. докл. научно-технической конференции "Средства автоматики и вычислительной техники в народном хозяйстве". - Пермь, 1985. -41с.

3. Удут Д. Л., Свинолулов Ю. Г., Плотников А. Н., Макаренко Б. Г. Способы и устройство для автоматизации поверки стрелочных приборов. /Тез. докл. научной конференции по физико-математическим наукам, радиоэлектронике и вычислительной технике. -Минск, 1985. -21с.

4. Свинолулов Ю. Г., Войтко В. П., Удут Д.Л., Плотникова Т. Б. Опыт разработки автоматизированных установок для поверки стрелочных измерительных приборов. /Научно-техническая конференция "Автоматизация метрологического обеспечения народного хозяйства". - Тбилиси, 1898. -С. 140-144.

5. Войтко В. П., Свинолулов Ю. Г., Удут Д. Л. Аппаратурно-программный комплекс контроля качества стрелочных приборов. /Третья научно-практическая конференция "Неразрушающие методы контроля на службе повышения качества продукции и экономии ресурсов". - Томск, 1986. -с. 47-49.

6. Свинолулов Ю. Г.; Войтко В. П., Удут Д. Л. Аппаратно-программный комплекс для поверки стрелочных измерительных приборов. / Тез. доклада Второго Всесоюзного совещания по точным методам измерения напряжения, тока и мощности. - Санкт-Петербург, 1986, -с. 65-67.

7. Свинолулов Ю. Г., Войтко В. П., Удут Д. Л. Автоматизированное рабочее место для поверки стрелочных вольтметров, /Республиканская научно-техническая конференция "Использование микропроцессоров в народном хозяйстве". - Таллинн, 1988. -с. 86-87.

8. Свинолулов Ю. Г., Удут Д. Л. Агрегатированный компьютерный комплекс для автоматизированного контроля параметров стрелочных электроизмерительных приборов. /Сборник НИИ ИН при ТПУ. - Томск: Издательство ТГУ, 1990. -с. 51-53.

9. Удут Д. Л. Проблемы поверки стрелочных измерительных приборов. /Вторая Всесоюзная конференция "Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов". - Барнаул, 1991, -с. 78-79.

10. Свинолулов Ю. Г., Войтко В. П., Удут Д. Л., Плотникова Т. Б. Автоматические установки для поверки манометров и вольтметров. /Тез. Докл. Всесоюзной конференции "Информационно-измерительные системы". - Ульяновск, 1989. - с. 71.

11. Свинолулов Ю. Г., Удут Д. Л., Плотникова Т. Б. Обучающийся комплекс для контроля качества манометров. /Четвертая научно-практическая конференция "Неразрушающие методы контроля на службе повышения качества продукции и экономии ресурсов". - Томск, 1989. с. 26-27.

12. Заявка N4845941/21-071153 от 28.06.90 Способ автоматической, поверки стрелочных измерительных приборов /Свинолулов Ю. Г., Плотникова Т. Б., Удут Д. Л., Седов Э. Н.

Подписано к печати 16.11.92 г.

Заказ N 33. Тираж 100 экз.

Ротапринт ТПУ, 634004, Томск, пр. Ленина, 30.