

**Ю.Г. Свинолупов, ОАО «Манотомь».**

## **Автоматизированный контроль метрологических характеристик и градуировка шкал в производстве стрелочных манометров.**

Актуальность в таких работах периодически проявляется, особенно в то время, когда достижения в компьютеризации, в применении средств технического зрения делают инновационные предложения учёных реальными для производства.

Традиционно проблема автоматизации съема показаний со шкалы стрелочных измерительных приборов, возникающая в процессе их изготовления и выходного контроля, решалась отдельно от других проблем, связанных с их производством.

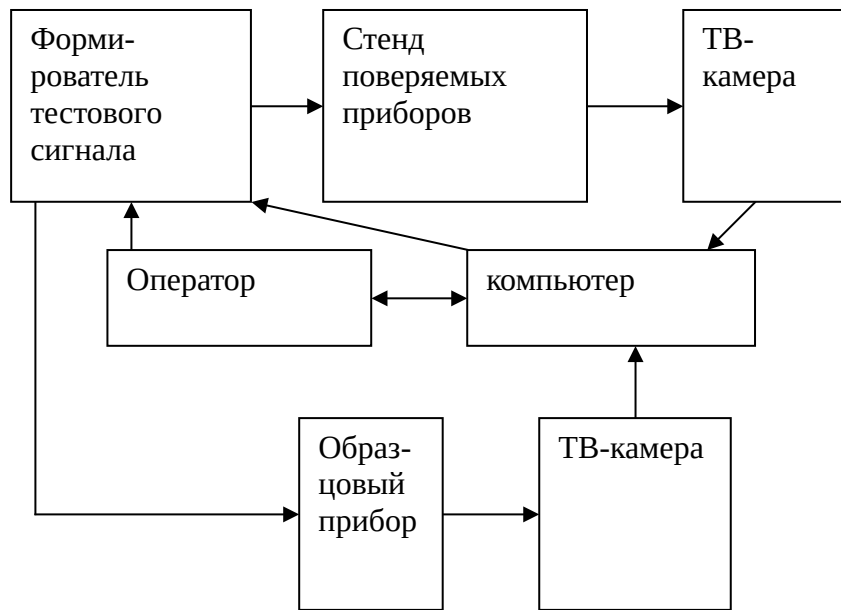
К настоящему времени в области автоматизации поверки стрелочных приборов сложилось два направления, различающихся по методу решения задачи, но достигающих примерно равных результатов. К первому направлению относятся методики исследования механизма прибора вне его связи со шкалой, успешно применимые к поверке электроизмерительных приборов. Наиболее успешными явились работы, проведённые в Ульяновском политехническом университете, под руководством д.т.н. профессора Мишина В.А. Ко второму направлению можно отнести разработки, осуществляющие непосредственный съём показаний со шкалы поверяемого прибора средствами технического зрения.

Работы по автоматизации поверки и градуировки стрелочных приборов, в том числе – манометров, проводимые в Томском Политехническом университете совместно с ОАО «Манотомь» с 1989 года, направлены на создание контрольно-измерительных систем (КИС), предназначенных для контроля метрологических характеристик стрелочных приборов.

Основными составляющими измерительной системы являются: компьютер с пакетом прикладного программного обеспечения; программно-управляемый источник тестового сигнала; стенд для размещения поверяемых приборов; видеоблок; печатающие устройство для вывода протоколов поверки, Фиг.1.

Формирование тестового сигнала осуществляется в зависимости от наличия программно-управляемых средств задания давления – автоматически по заданной программе, или оператором, по запросу программы с помощью образцового прибора средствами формирования давления с ручным управлением. В свою очередь, при использовании программно-управляемого формирователя тестового сигнала, не имеющего достаточного метрологического запаса по отношению к поверяемому прибору, значение тестового сигнала определяется по образцовому манометру автоматически с помощью дополнительной ТВ-камеры. Таким образом, применительно к разным видам измерений разработана универсальная конфигурация КИС, обеспечивающая поверку стрелочных манометров, как по методу образцового сигнала, так и по методу образцового прибора.

При переходе с одного вида измерения на другой в структуре КИС заменяется только формирователь тестового сигнала. Универсальность же алгоритмов и программ позволяет адаптировать комплекс практически к любому типу стрелочного измерительного средства и изменению таких условий его эксплуатации, как освещённость или температура.



Фиг.1

Видеоблок представляет собой устройство, предназначенное для обработки телевизионного изображения и передачи его в компьютер. В состав видеоблока входит телевизионная камера и устройство управления вводом изображения в компьютер, которое позволяет последовательно опрашивать любое количество ТВ-камер, при этом схемы формирования «электронного окна» позволят обеспечить произвольный закон сканирования шкалы каждого поверяемого прибора.

Предел расширения группы одновременно обрабатываемых приборов ограничен, с одной стороны, нагрузочными способностями задатчиков тестового сигнала, а с другой стороны - геометрическими параметрами манометров, их метрологических характеристиками и разрешающей способностью видеоблока. Поэтому эффективность применения рассматриваемых измерительных систем в промышленном производстве в первую очередь определяется наличием скоростных алгоритмов сжатия и обработки изображений и принятия решений о качестве поверяемых приборов, не требующих сложных аппаратных решений.

Распознавания на индикаторной части прибора объектов стрелочного указателя и оцифрованной отметки является ключевым звеном процесса съема показаний.

Поэтому систему распознавания в данном случае следует рассматривать, как измерительное средство, а качество распознавания следует рассматривать как точность измерения. До сих пор в теории распознавания не поднимался вопрос о распознавании с целью измерения. В силу требования адаптивности к различным типам поверяемых приборов, специфики работы с видеосигналом и ряда других причин, значение большинства параметров алгоритмов распознавания, необходимых для работы комплекса в режиме поверки и разбраковки, априори известны.

Алгоритмическое обеспечение измерительной системы, содержащей аппаратно-программный блок распознавания изображения и обеспечивающий съем показаний со шкал стрелочных приборов, строится на концепции обучающих систем.

Значение всех необходимых для эксплуатации КИС параметров, обеспечивающих достижение ею требуемых метрологических характеристик, определяются в специальном

режиме предварительного обучения. На первом этапе в диалоговом режиме для определенного типа приборов вносится априорная информация, такая как класс точности поверяемого прибора или число поверяемых отметок; формируются данные о шкале прибора. На втором этапе итерационным методом определяются значения параметров алгоритма распознавания стрелочного указателя и оцифрованной отметки (объем вводимого кадра, пороговые значения бинаризации видеосигнала, число последовательных вводов изображения, коэффициент корреляции распределенной статистики координат стрелочного указателя, статистические и геометрические параметры фрагмента оцифрованной отметки и др.). Заключительным этапом обучения для приборов с типовыми шкалами является формирование управления шкалы в виде кусочно-линейного аппроксиманта. Результатом обучения становится достижение измерительной системой характеристик, рассчитанных от класса точности поверяемого прибора с учетом метрологического запаса. Качество обучения учитывается на этапах экспериментального определения систематической составляющей погрешности, оценки среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности и контрольной поверки, являющихся последним звеном итерационного процесса обучения. Второй задачей обучения является оптимизация параметров, оказывающих влияние на быстродействие снятия показаний, т.е. достижение требований, предъявляемых к алгоритму поверки: удовлетворительная точность и максимальное быстродействие.

Этап поверки включает в себя следующие шаги: предварительная привязка приборов к системе координат, коррекция погрешностей из-за их смещения в плоскости оптической системы; определение углового положения стрелочного указателя на поверяемых отметках и снятие показаний; определение основной погрешности, вариации показаний, остаточного отклонения от нуля; накопление статистики принятых решений.

Необходимым условием эксплуатации КИС является периодическая поверка соответствия параметров алгоритмов распознавания исходным условиям и коррекция их значений (самодиагностика).

Очевидно, что такие аппаратные составляющие, как телевизионная передающая камера и устройство обработки видеосигнала не являются измерительными приборами, и они не могут быть поэлементно аттестованы как части измерительной системы. Далее, алгоритмические и программные средства должны обеспечивать нормальную работу системы при измерении условий эксплуатации, таких как неравномерность засветки, позиционирование прибора в плоскости оптической системы и т.д. Поэтому к оценке точности измерения нельзя подходить традиционными методами оценки характеристик измерительных средств.

Метрологическая аттестация установки для поверки манометров проводилась по методу образцового прибора с помощью физического имитатора поверяемого манометра, т.к. это не требует переобучения системы и не влечет за собой изменения достигнутых параметров алгоритмов поверки. Такие имитаторы представляют собой программно-управляемую угловую меру, внешнюю копию реального измерительного прибора с электрическим приводом от компьютера.

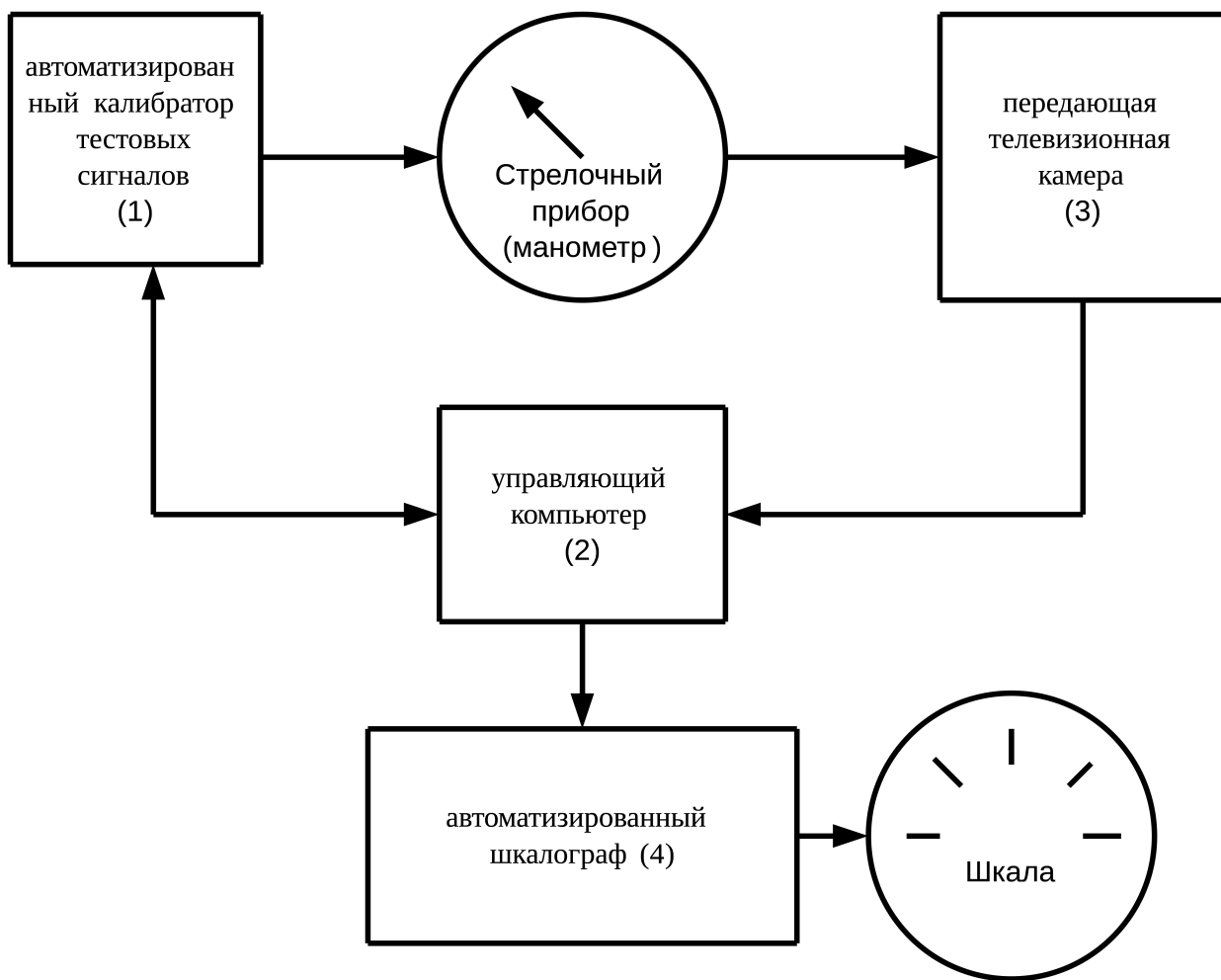
Что касается автоматизации градуировки, то по практической ценности результатов следует выделить работу, выполненную в Томском университете систем управления и радиоэлектроники по «Исследованию возможности создания автоматизированной технологии и технических средств её промышленной реализации» для автоматизации изготовления шкал стрелочных приборов, в том числе прецизионных стрелочных манометров. Авторы работы : А. А. Светлаков: д.т.н., профессор ТУСУРа; И.В. Шакиров: к.т.н., с.н.с. ТУСУРа; В.В. Гренке: аспирант ТУСУРа.

Внедрение такой технологии в промышленное производство манометров или других стрелочных приборов позволит значительно снизить трудоёмкость операций настройки прецизионных приборов.

Суть метода заключается в том, что на приборе, вместо трудоёмкой операции его настройки, производят автоматическую градуировку шкалы. Осуществляют это следующим образом. Подготовленный к операции шкалографирования прибор, на индикаторной части которого размещают технологический, свободный от надписей циферблат и стрелочный индикатор, аналогичный реальному, устанавливают перед объективом передающей телевизионной камеры. Предварительно в компьютер задают геометрические параметры изображения будущей шкалы. С помощью устройства ввода изображения преобразуют изображение в бинарное и вводят его в компьютер для обработки. Устанавливают на входе прибора последовательно эталонные сигналы, в том числе и нулевые. После того, как стрелочный индикатор установится в положение, соответствующее входному сигналу, вводят последовательно соответствующие изображения в компьютер и запоминают их. Производят обработку полученных массивов изображений таким образом, что получают соответствующие эталонным сигналам изображения стрелочного индикатора на свободном от других изображений индикаторном пространстве прибора. Находят точку пересечений средних линий изображений стрелочного индикатора как истинное положение центра его вращения, получают уравнение прямой - средней линии соответствующего изображения - в полярной системе координат, получают уравнение шкалы прибора в виде полинома или набора функций, связывающих зависимостями полученные углы поворота стрелки и входные сигналы. Полученное уравнение шкалы передают на автоматизированный шкалограф и наносят рисунок шкалы на поверхность заготовки индикаторной части прибора с учётом предварительно заданных параметров изображения шкалы. В основу алгоритмического обеспечения установки положен способ по Патенту РФ (заявка № 2009129683).

Таким способом можно одновременно производить градуировку группы приборов, тем самым в соответствующее количество раз повышать эффективность способа.

На фигуре 2 показана структурная схема установки. В её состав входят : 1- автоматизированный калибратор тестовых сигналов (для манометров - это калибратор давления), 2- управляющий компьютер, 3- средство технического зрения- передающая телевизионная камера, с устройством ввода изображения в компьютер, 4- автоматизированный шкалограф, управляемый компьютером.



Фиг. 2

На фиг.3 показана малогабаритная телевизионная передающая камера, применяемая в установке для ввода изображения в память компьютера. Устройство было разработано в процессе выполнения данного проекта и имеет дополнительные возможности предобработки изображения. В частности, камера позволяет программно ограничить поле вводимого изображения.



Фиг.3

В качестве шкалографа использован принтер типа BigJET3000 (фиг.4). Время изготовления шкалы для 1-го прибора составляет 4 минуты.



Фиг.4



Фиг.5

На Фиг.5 показан пример выполнения круговой шкалы для манометра. Угловая погрешность изготовления шкалы диаметром 160 мм составляет 0,3 градуса, что позволяет изготавливать шкалы прецизионных приборов.

Сведения об авторе: Свинолулов Юрий Григорьевич, к.т.н., доцент, академик Инженерной Академии РФ, научный руководитель СКБ ОАО «Манотомь». E.mail: [sjg@manotom-tmz.ru](mailto:sjg@manotom-tmz.ru)