

**Колмогоров Алексей Геннадьевич,**  
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: atp@angtu.ru

**Тетерин Игорь Юрьевич,**  
магистрант, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: teterin.igor2017@yandex.ru

## **КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПОВЕРКИ СТРЕЛОЧНЫХ МАНОМЕТРОВ**

**Kolmogorov A.G., Teterin I.IU.**

## **THE CONCEPT OF AN INTELLIGENT STAND FOR THE VERIFICATION OF GAUGE GAUGES**

**Аннотация.** В работе рассмотрена функциональная схема разрабатываемого стенда по автоматизированной поверке стрелочных манометров с использованием системы машинного зрения.

**Ключевые слова:** давление, манометр стрелочный, методика поверки, система машинного зрения, распознавание.

**Abstract.** The paper considers the functional scheme of the stand being developed for automated verification of gauge gauges using a machine vision system.

**Keywords:** pressure, pressure gauge, calibration method, machine vision system, recognition.

Для успешной деятельности предприятиям необходимо использовать эффективные инструменты оценки качества. Одним из важнейших структурных элементов обеспечения качества на предприятии - метрологическая служба, несущая ответственность за обеспечение измерений при разработке, изготовлении, испытаниях и эксплуатации продукции и иной деятельности.

В манометрической лаборатории АО «АНХК» ежегодно проходит периодическую поверку более 36 тысяч стрелочных манометров. Во время проведения капитального ремонта установок, количество приборов, требующих поверки, возрастает. Согласно действующей методике поверки [1], работы производятся на поверочном стенде, на котором отсутствует возможность проведения поверки манометров в автоматическом или полуавтоматическом режиме, что влечет за собой весьма существенные трудозатраты со стороны государственных поверителей и, как следствие, финансовые издержки.

Необходимость внедрения автоматизированных процедур поверки средств измерений обусловлена рядом объективных факторов:

- низкая степень автоматизации и, как следствие, недостаточная производительность труда в современных условиях;
- по мере роста парка приборов увеличивается утомляемость поверителя, что отрицательно сказывается на качестве выполнения процедуры поверки;
- необходимость ручной фиксации информации о поверке на бумажный носитель (оформление протоколов, свидетельств);

В данной работе ставится задача произвести разработку модернизированного стенда, в котором некоторые функции поверки будут автоматизированы.

Для облегчения и ускорения процедуры поверки предлагается модернизированная версия стенда, функциональная схема которого представлена на рисунке 1.

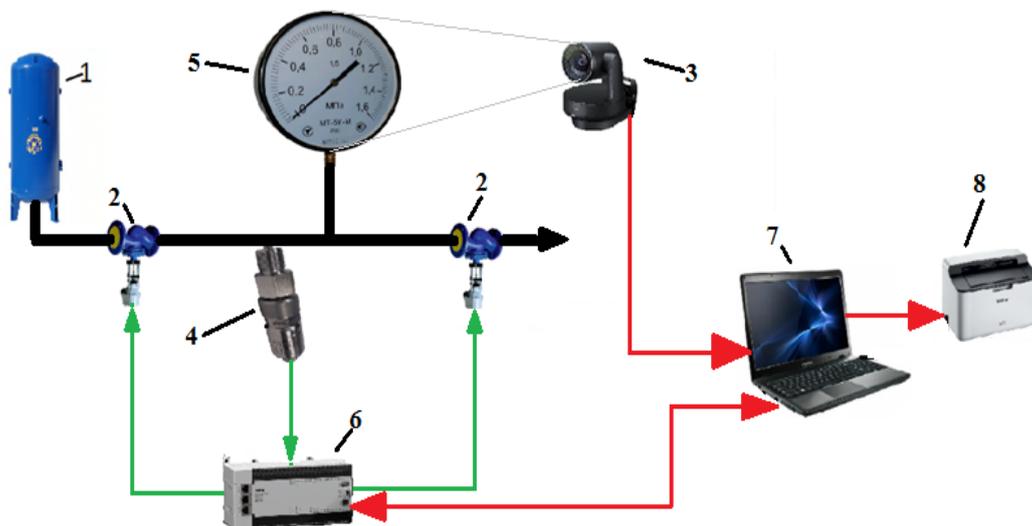


Рисунок 1 – Функциональная схема интеллектуального стенда для поверки стрелочных манометров

В структуре стенда предполагается использование:

- воздушного ресивера с рабочим давлением 1,1 МПа (рисунок 1, поз.1), служащего источником избыточного давления для поверяемых приборов;
- автоматической регулирующей арматуры, установленной на трубопроводах для подачи воздуха в манометр и стравливания его в атмосферу (рисунок 1, поз.2);
- камеры машинного зрения (рисунок 1, поз.3), в фокусе которой установлен поверяемый манометр (рисунок 1, поз.5), предназначенной для автоматического считывания показаний манометра;
- образцового преобразователя давления (рисунок 1, поз.4), служащего эталоном второго разряда;
- малоканального микропроцессорного контроллера, служащего для управления процессом набора/сброса давления до нужного значения (рисунок 1, поз.6);
- управляющего вычислительного центра в виде ноутбука, на котором установлено специализированное разработанное программное обеспечение для управления процессом поверки (рисунок 1, поз.7), и подключенным к нему принтером для выдачи протоколов (рисунок 1, поз.8).

Аппаратное наполнение стенда предполагает использование:

- отсечных клапанов серии КМР-Э;
- образцового датчика давления МИДА-ДИ-15-Эталон;
- веб-камеры Ritmix RVC-250.
- микропроцессорного контроллера Овен ПЛК-160.

Программное обеспечение стенда включает в себя три подпрограммы. Первая обеспечивает создание поверяемого давления на манометре при помощи открытия/закрытия регулирующих клапанов (рисунок 1, поз.2). Нагнетаемое давление измеряется образцовым преобразователем давления (рисунок 1, поз. 4) и регулируется по ПИ-закону встроенным в ПЛК «ОВЕН» регулятором. Программа написана в среде программирования PC Worx для контроллеров. Ее алгоритм следующий: как только с общей программы поступает задание на поверяемое давление, контроллер сверяет текущее давление с образцового датчика и уже в зависимости от того, низкое оно или высокое, регулируемыми клапанами устанавливает требуемое значение. После установки на манометре поверяемого значения оба регулирующих клапана закрываются, давление с образцового датчика фиксируется в базе данных программы.

После этого в работу вступает вторая подпрограмма, отвечающая за распознавание показания стрелки манометра. Она обрабатывает изображение с камеры при помощи библиотек, входящих в состав среды разработки Python.

Математическая модель распознавания показаний стрелочного индикатора содержит:

- бинарное изображение шкалы стрелочного индикатора

$$I(i, j) = \{0, 1\}; i = \overline{0, h-1}, j = \overline{0, w-1}, \quad (1)$$

где  $h$  и  $w$  - соответственно высота и ширина изображения в пикселах.

Массив пикселей черного цвета  $I(i, j)=1$  определяет область на изображении, принадлежащую объекту указателя; массив пикселей белого цвета  $I(i, j) = 0$  определяет область на изображении, принадлежащую иным объектам, например, фону, штриховым и числовым отметкам. Алгоритм получения бинарного изображения характеризуется тем, что в процессе считывания формируются два изображения  $I_0(i, j)$ ,  $I_f(i, j)$ , первое из которых соответствует начальному показанию стрелочного индикатора, второе - конечному;

- функцию преобразования  $S(I, \varphi)$  массива пикселей  $I(i, j)=1$  в угол отклонения указателя  $\varphi$ ;

- функцию преобразования  $P(V, \varphi)$  угла  $\varphi$  в показания индикатора  $V$ .

Для определения показаний необходимо распознавать изображения шкалы индикатора. При этом числовое значение показания индикатора определяется на основе двух изображений  $I_0(i, j)$ ,  $I_f(i, j)$ .

Ниже описанные операции описывают функцию преобразования  $S(I, \varphi)$ .

Сначала изображение шкалы стрелочного индикатора  $I(i, j)$  сканируется, определяются координаты  $O(x_0, y_0)$  центра стрелочного указателя по следующим формулам:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=\overline{0, h-1}; j=\overline{0, w-1}} i}{n} \\ y_0 = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=\overline{0, h-1}; j=\overline{0, w-1}} j}{n} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $n$  - число черных пикселей на изображении  $I(i, j)$ .

Далее изображение шкалы  $I(i, j)$  сканируется, определяются координаты  $x_A, y_A, x_B, y_B$  центров образованных отрезков по следующим формулам:

$$\begin{cases} x_A = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=\overline{0, y_0}; j=\overline{0, x_0}} i}{k}; \\ y_A = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=\overline{0, y_0}; j=\overline{0, x_0}} j}{k}; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_B = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=\overline{y_0, h-1}; j=\overline{x_0, w-1}} i}{s}; \\ y_B = \frac{\sum_{\forall I_{ij}=1; i=\overline{y_0, h-1}; j=\overline{x_0, w-1}} j}{s}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $k$  и  $s$  - число черных пикселей в первом и во втором отрезках изображения указателя, причем  $k + s = n$ .

Угол наклона указателя вычисляется по координатам двух точек  $A(x_A, y_A)$ ,  $B(x_B, y_B)$  по формуле:

$$tg(\varphi) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}. \quad (5)$$

Полученные значения  $tg(\varphi_0)$  и  $tg(\varphi_f)$ , соответствующие начальному  $\varphi_0$  и конечному  $\varphi_f$  углу отклонения указателя, запоминаются.

По характеру зависимости линейных или угловых расстояний между соседними отметками шкалы от измеряемой величины различают равномерные и неравномерные шкалы. Равномерная шкала характеризуется одинаковым расстоянием между отметками, на неравномерной шкале расстояние между отметками изменяется по определенному закону.

Необходимо найти функции преобразования  $P(\varphi, V)$  угла  $\varphi$  отклонения указателя в показания индикатора  $V$ , т.е. определить вид функции  $Z(\varphi) = V$ .

Для случая равномерной шкалы имеем:

$$\begin{aligned} Z(\varphi) &= K\varphi; \\ K &= \frac{Z(\varphi_1)}{\varphi_1} = \frac{Z(\varphi_2)}{\varphi_2} = \dots = \frac{Z(\varphi)}{\varphi}; \varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_q; q \in N, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $K$  - постоянный коэффициент.

Для случая неравномерной шкалы имеем:

$$Z(\varphi_i) = \{Z(\varphi_1), Z(\varphi_2), \dots, Z(\varphi_d)\}, \varphi_i = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_d\}, i = \overline{1, d},$$

$$\frac{Z(\varphi_1)}{\varphi_1} \neq \frac{Z(\varphi_2)}{\varphi_2} \neq \dots \neq \frac{Z(\varphi)}{\varphi}; \varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_d; d \in N, \quad (7)$$

где  $Z(\varphi_i)$ - дискретная функция, заданная таблично.

Каждому значению  $\varphi_i, i = \overline{1, d}$  соответствует показание стрелочного указателя  $Z(\varphi_i)$ . Значение  $d$  зависит от количества делений  $l$  на шкале стрелочного указателя, очевидно, что  $d \leq l$ . Угол отклонения указателя относительно начального положения рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \varphi_f - \varphi_0. \quad (8)$$

В зависимости от типа шкалы выбирается функция  $Z(\varphi)$ , найденное значение  $tg(\varphi_0)$  сравнивается с заранее определенными табличными значениями, запоминается начальный угол  $\varphi_0$  отклонения указателя. Найденное значение  $tg(\varphi_f)$  сравнивается с заранее определенными табличными значениями, запоминается конечный угол  $\varphi_f$  отклонения указателя, вычисляется угол отклонения указателя по формуле, выполняется преобразование  $P(\varphi, V)$  значение  $V$  запоминается [1].

После определения значения манометра начинает работу третья часть программы, которая производит расчет погрешностей при помощи методики [2].

Все три подпрограммы циклично обрабатывают все проверяемые значения шкалы манометра и заносят их в базу данных.

По завершению процедуры, опираясь на конечные результаты, полученные в ходе вычислений по поверке стрелочного манометра, в окне программы будет высвечено слово «пригоден» или «непригоден», в зависимости от полученных отклонений.

По завершению поверки поверитель ставит печать на пригодный манометр. Также, если персоналу требуется документ о поверке данного прибора, поверитель нажатием на клавишу «Распечатать документ о поверке» отправляет его на печать.

В результате реализации интеллектуального стенда произойдет сокращение сроков проведения поверки манометров, повышение производительности труда, а также достоверности результатов поверки за счет исключения влияния субъективного человеческого фактора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Головенков Е.В.** Метод и устройство автоматической поверки стрелочных контрольно-измерительных приборов / Е. В. Головенков, С. В. Дегтярев // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 1. С. 211-216.

2. Методика поверки МИ 2124-90. Манометры, вакууметры, моновакууметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие. Рекомендация. / Москва: ВНИИМС, 1990. - 24 с.