

Заключение. Применение машинного обучения дают больше возможностей и перспектив устойчивым системам. Различные методы обучения, в зависимости от задач, могут сокращать потребность в ресурсах при обработке данных. Это означает, что методы машинного обучения, которые направлены на ресурсоэффективность, улучшают производительность систем. Дальнейшие исследования способствуют созданию стабильных систем, что актуально для промышленности.

Список литературы

1. Машинное обучение с использованием Python. Сборник рецептов: Пер с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2019.
2. Айвазян С.А. Прикладная статистика: исследование зависимостей: учебник / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1985.
3. Журавлев Ю.И. «Распознавание». Математические методы. Программная система. Практические применения: учебник / Ю.И. Журавлев, В.В. Рязанов, О.В. Сенько – М.: Фазис, 2006.
4. Бурков А. Машинное обучение без лишних слов: учебник / А. Бурков. – СПб.: Питер, 2020 – 192с.
5. Diwan T. Object detection using YOLO: Challenges, architectural successors, datasets and applications / T. Diwan, G. Anirudh, J.V. Tembhurne // Multimedia Tools and Applications. – 2023. – Т. 82. – №. 6. – С. 9243–9275.

УДК 681.2.08

РАЗРАБОТКА ТРЁХОСЕВОВОГО ВИХРЕТОКОВОГО ЗОНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА СТАЛЬНЫХ ТРУБ

Волков Михаил Павлович, Якимов Евгений Валерьевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: mpv5@tpu.ru, socrat1975@tpu.ru

Белик Михаил Николаевич

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда

E-mail: m_belik@inbox.ru

DEVELOPMENT OF A THREE-AXIS EDGE CURRENT PROBE FOR MEASUREMENT OF THE INNER DIAMETER OF STEEL PIPES

Volkov Mikhail Pavlovich, Yakimov Evgeniy Valerievich

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Belik Mikhail Nikolaevich

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda

Аннотация: смещение измерительных зондов относительно центра объектов контроля является актуальной проблемой. Цель статьи заключается в рассмотрении метода измерения внутреннего диаметра труб, при котором продольное и поперечное смещение зонда относительно центральной оси трубы не оказывают влияния на измерительную информацию.

В данной статье будет рассмотрен метод измерения, основанный на использовании канонического уравнения окружности, также предложена конструкция трёхосевого измерительного вихретокового зонда.

Abstract: the displacement of measuring probes relative to the center of control objects is an urgent problem. The purpose of the article is to consider a method for measuring the internal diameter of pipes, in which the longitudinal and transverse displacement of the probe relative to the central axis of the pipe does not affect the measurement information.

This article will consider a measurement method based on the use of the canonical equation of a circle, and also propose the design of a three-axis measuring eddy current probe.

Ключевые слова: неразрушающий контроль; вихревые токи; первичный вихретоковый преобразователь; зазор; электропроводящий материал.

Keywords: non-destructive testing; eddy currents; primary eddy current transducer; gap; electrically conductive material.

Введение. Знание о внутреннем диаметре труб является важным и требует измерение. Протяжённость труб накладывает ограничения на методы и конструкции применяемых измерительных зондов. Существует вихретоковая система контроля диаметра СКД-01, которая обеспечивает измерение внутреннего диаметра зондом, расположенным внутри трубы. На результаты измерений высокое влияние оказывают поперечное смещение OX и продольное OY (см. рисунок 1). Необходимо разработать метод, снижающий данные влияния к минимуму [1].

Конструкция первичного вихретокового преобразователя системы контроля диаметра СКД-01 приведена на рисунке 1. Измерение внутреннего диаметра заключается в измерении двух зазоров между поверхностью трубы и преобразователем. Для измерения двух зазоров применяется зонд, состоящий из двух накладных трансформаторных вихретоковых преобразователей [2].

Внутренний диаметр d равен:

$$d = h_0 + h_1 + h_2, \quad (1)$$

h_0 – размер преобразователя, $h_{1,2}$ – размеры зазоров.

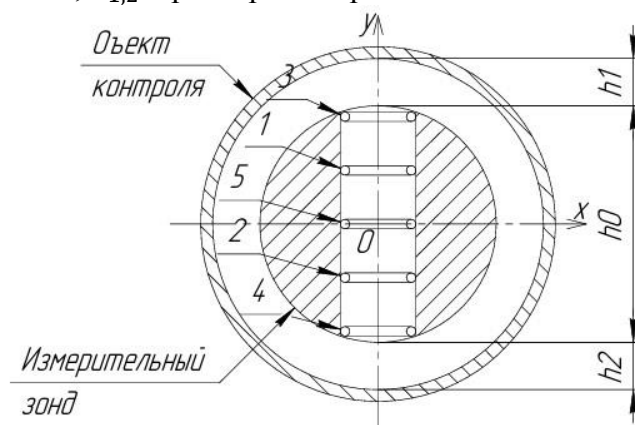


Рисунок 1 – Схема измерения внутреннего диаметра трубы

где 1, 2 – обмотки возбуждения, 3, 4 – измерительные обмотки, 5 – компенсационная обмотка.

1. Метод измерения внутреннего диаметра

1.1. Каноническое уравнение окружности

Для измерения диаметра трубы используется каноническое уравнения окружности.

$$(x - x_0)^2 + (y - x_0)^2 = r^2; \quad (1)$$

$$r = \frac{D}{2}; \quad (2)$$

$$(x - x_0)^2 + (y - x_0)^2 = \frac{D^2}{4}. \quad (3)$$

где $O'(x_0, y_0)$ – координаты центра окружности, (x, y) – координаты точки окружности, r – радиус окружности, D – диаметр окружности [3].

1.2. Алгоритм расчёта

В уравнении (3) координаты центра окружности (x_0, y_0) и диаметр окружности D являются переменными, координаты точки окружности (x, y) должны быть измерены, поэтому для определения диаметра D необходимо решить систему из трёх уравнений (4).

$$\begin{cases} (x_A - x_0)^2 + (y_A - x_0)^2 = \frac{D^2}{4} \\ (x_B - x_0)^2 + (y_B - x_0)^2 = \frac{D^2}{4} \\ (x_C - x_0)^2 + (y_C - x_0)^2 = \frac{D^2}{4} \end{cases} \quad (4)$$

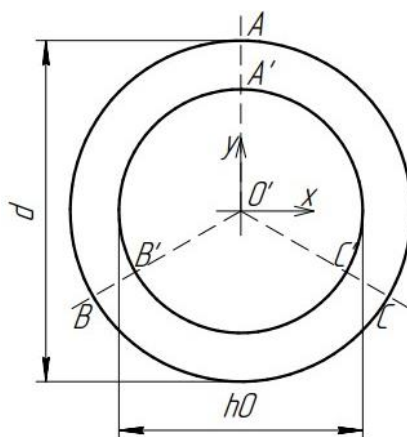


Рисунок 2 – Схема измерения внутреннего диаметра трубы трёхосевым зондом

Измерительный трёхосевой зонд обеспечивает измерение зазоров в трёх точках h_A, h_B, h_C расположенных под углом 120° .

$$h_A = [A; A']; h_B = [B; B']; h_C = [C; C']. \quad (5)$$

Далее определяются расстояния от точек окружности до центра зонда H_A, H_B, H_C .

$$H_A = [A; O']; H_B = [B; O']; H_C = [C; O']. \quad (6)$$

Полученные расстояния необходимо перевести в прямоугольную систему координат.

$$\begin{aligned} x_A &= 0, y_A = H_A; \\ x_B &= -\cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot H_B; y_B = -\sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot H_B; \\ x_C &= \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot H_C; y_C = -\sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot H_C. \end{aligned} \quad (7)$$

Полученные координаты точек окружности подставляются в систему уравнений (4), в результате определяется смещение центра окружности от центра зонда и диаметр окружности.

1.3. Работоспособность алгоритма

Построена модель измерения внутреннего диаметра трубы $D_0 = 20$ мм измерительным зондом диаметром $h_0 = 20$ мм с произвольным смещением (см. рисунок 3).

Измерены зазоры между окружностью и измерительным зондом (см. рисунок 4):

$$h_A = 8,77 \text{ мм}; h_B = 4,47 \text{ мм}; h_C = 0,60 \text{ мм}.$$

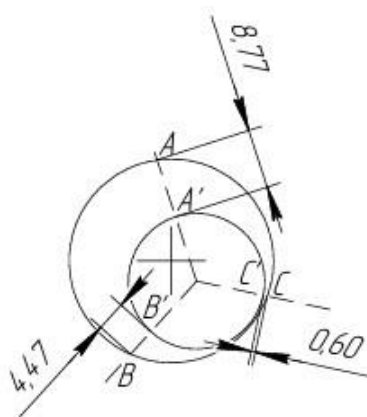


Рисунок 3 – Модель измерения внутреннего диаметра трубы

$$\begin{aligned}
 h_0 &:= 20 && \text{- диаметр зонда, мм} && D_0 &:= 30 && \text{- внутренний диаметр трубы, мм} \\
 h_A &:= 8.77 && h_B &:= 4.47 && h_C &:= 0.60 && \text{- зазоры, мм} \\
 H_A &:= h_A + \frac{h_0}{2} = 18.7700 && H_B &:= h_B + \frac{h_0}{2} = 14.4700 && H_C &:= h_C + \frac{h_0}{2} = 10.6000 \\
 &&&&&&&&& \text{- расстояния от центра до точек окружности, мм}
 \end{aligned}$$

Переход из полярной системы координат в ортогональную

$$\begin{aligned}
 x_A &:= 0 && y_A &:= H_A = 18.7700 \\
 x_B &:= -\cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot H_B = -12.5314 && y_B &:= -\sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot H_B = -7.2350 \\
 x_C &:= \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot H_C = 9.1799 && y_C &:= -\sin\left(\frac{\pi}{6}\right) \cdot H_C = -5.3000
 \end{aligned}$$

Решение системы уравнений окружности

Given

$$x_0 := 1 \quad y_0 := 1 \quad D := 30$$

$$[(x_A) - x_0]^2 + [(y_A) - y_0]^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$[(x_B) - x_0]^2 + [(y_B) - y_0]^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$[(x_C) - x_0]^2 + [(y_C) - y_0]^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$\text{Find}(x_0, y_0, D) = \begin{pmatrix} -2.5905 \\ 3.9965 \\ 29.9978 \end{pmatrix} \quad \text{- внутренний диаметр трубы, мм}$$

Рисунок 4 – Алгоритм определения диаметра

Полученный диаметр $D = 29,9978$ мм, абсолютная погрешность измерения составила $\Delta D = 0,0022$ мм, относительная $\delta D = 0,22$ %.

Данный алгоритм обработки измеренных данных повышает точность системы, уменьшая влияние продольных и поперечных смещений.

1.4. Трёхосевой измерительный зонд

Для измерения внутреннего диаметра с помощью системы уравнений (4) необходимо применять измерительный зонд, который обеспечивает измерение как минимум трёх координат окружности. Предлагаемая конструкция зонда приведена на рисунке 5.

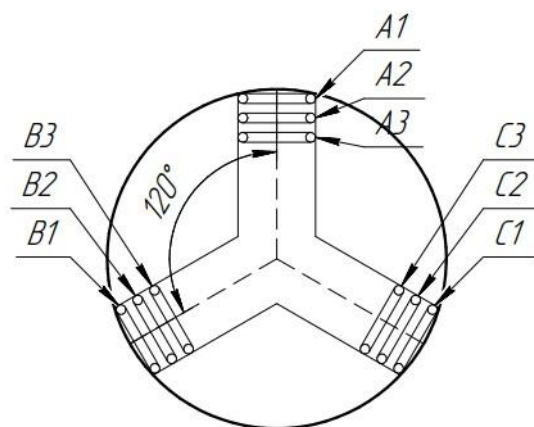


Рисунок 5 – Схема трёхосевого измерительного зонда

Трёхосевой вихретоковый измерительный зонд, состоит из трёх накладных трансформаторных преобразователей, расположенных согласно схеме (см. рисунок 5), где A_1, B_1, C_1 – измерительные обмотки, A_2, B_2, C_2 – обмотки возбуждения, A_3, B_3, C_3 – компенсационные обмотки [4, 5].

Заключение. Был разработан метод измерения внутреннего диаметра труб и предложена конструкция трехточечного измерительного зонда которые значительно упрощают процесс измерения, так как снижаются влияния продольных и поперечных смещений зонда относительно центра трубы. Необходимо дальнейшее исследование системы.

Список литературы

1. Руководство эксплуатации. Система контроля диаметра СКД-01. – Томск: 2012. – 12 с.
2. Ключев В.В. Неразрушающий контроль. Справочник / под ред. В.В. Ключева: в 8 томах. Т 2: в 2-х кн.: Кн. 1: Контроль герметичности. Кн. 2: Вихретоковый контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.
3. Терёхина Л.И. Высшая математика 1: учебное пособие / Л.И. Терёхина, И.И. Фикс; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 82 с.
4. Гольдштейн А.Е. Физические основы получения информации: учебное пособие / А.Е. Гольдштейн. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2010. – 292 с.
5. Гольдштейн А.Е. Физические основы измерительных преобразований, учебное пособие / А.Е. Гольдштейн. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2008. – 253 с.