

УДК 631.053

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБ

Жиганов И.Ю., Скворцов Б.В.

Оперативный контроль геометрических параметров труб необходим в процессе производства, после ремонта и транспортировки, при продаже и приемки, в ходе погрузочно-разгрузочных операций. Геометрические параметры труб, такие как длина, диаметр, толщина стенки, изгиб, профиль торца, чистота внутренней поверхности измеряются в настоящее время в основном контактными методами с помощью механических измерительных инструментов. Эти методы трудоемки и субъективны. Существуют попытки организации измерений указанных параметров труб бесконтактными оптическими методами [1-7]. В статье дается анализ оптических методов измерений геометрических параметров труб, делается попытка их обобщения и развития на основе современной элементной базы и новых вычислительных технологий.

Оптическими методами можно измерять длину, например лазерными дальномерами, которые требуют установки отражателя на противоположном конце трубы (что неудобно и не всегда возможно). При контроле геометрических параметров эффективно использовать измерительные телекамеры, которые позволяют спроектировать изображение трубы или ее элементов на фотоприемную матрицу, ввести его в ЭВМ или специализированный микропроцессор и в дальнейшем обработать математическими приемами. Метод эффективен при определении формы профиля, диаметра, толщины стенки, изгиба трубы. При этом оптическая чувствительность современных телекамер такова, что позволяет обходиться без дополнительного освещения, используя только естественный свет.

Обобщенная схема телевизионно-компьютерной установки для контроля геометрических параметров труб показана на рис. 1. Здесь на участке выходного контроля трубы на определенном расстоянии от торца устанавливается телекамера 3, выход которой через устройство ввода изображения 2 подсоединен ко входу ЭВМ 1. Введенное в ЭВМ изображение обрабатывается по специальным программам, в результате которого определяется внешний и внутренний диаметры трубы, толщина стенки, отклонение от требуемой формы, вычисляются максимальные отклонения от паспортных характеристик, выдается заключение о соответствии данной трубы ГОСТу. Отметим, что профиль торца может быть круглым или прямоугольным и ЭВМ должна проводить анализ труб на соответствие указанным формам. При наличии индивидуальной маркировки труб ЭВМ

также может вести автоматическое протоколирование результатов измерений.

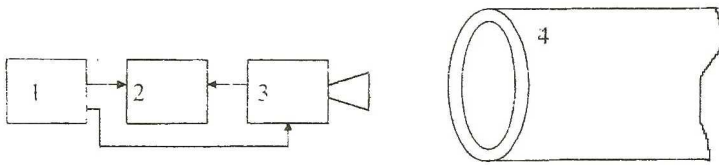


Рисунок 1 - Схема телевизионно-компьютерной установки для контроля геометрических параметров трубы: 1 - ЭВМ, 2 - устройство ввода изображения, 3 - телекамера, 4 - труба

Рассмотрим алгоритмы вычислений некоторых геометрических параметров. Процесс формирования изображения на матрице телевизионной камеры для случая ее идеального торцевого расположения иллюстрируется рисунком 2, где b – расстояние от камеры до торца трубы, L – длина, R_1 – внутренний радиус, R_2 – внешний радиус, d – толщина стенки трубы. β – половина угла обзора телекамеры. r – радиус проекции выходного отверстия противоположного торца трубы.

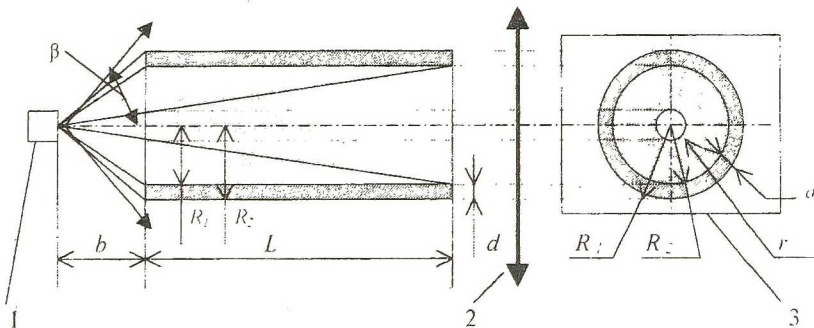


Рисунок 2 - Иллюстрация к процессу формирования изображения профиля трубы на поверхности ПЗС – матрицы:

1 – телекамера. 2 – оптическая система. 3 – поверхность ПЗС-матрицы

На поверхности ПЗС-матрицы формируется изображение, размеры которого зависят от максимального угла захвата телекамеры и расстояния от торца камеры до торца трубы. Коэффициент преобразования реальных размеров трубы в размер изображения на ПЗС – матрице телекамеры определяется параметрами оптической системы, которая обязательно удовлетворяет требованиям пропорциональности. Это значит, что изображение всех реальных параметров трубы на поверхности ПЗС – мат-

рицы будет иметь следующие размеры: $R_1' = KR_1$, $R_2' = KR_2$, $d' = Kd$, где K — коэффициент преобразования.

Таким образом, при известном коэффициенте преобразования оптической системы по изображению, формируемому телекамерой, можно судить о реальных размерах трубы. При этом можно измерять не только внешний, внутренний диаметр и толщину стенки, но и длину, если труба прямая и внутренний диаметр известен. Например, это можно делать по изображению противоположного торца трубы. Действительно размер проекции противоположного торца трубы зависит от длины и определяется по формуле: $r' = \frac{R_1' b}{L + b}$. Отсюда длина трубы определится по формуле:

$$L = \frac{b(R_1' - r')}{r'}. \quad (1)$$

Если известна длина, то можно определить внутренний диаметр трубы:

$$R_1' = K \frac{L + b}{b} r' \quad (2)$$

Основной трудностью при таком методе измерения является сохранение фиксированного расстояния b между камерой и срезом трубы. Для этого нужно специальное устройство, которое бы фиксировало и центрировало телекамеру относительно торца трубы. Кроме того, изображение трубы может оказаться на фоне посторонних объектов, которые попадают в угол обзора телекамеры, что затрудняет компьютерную обработку результатов. Если ограничиться измерением только внутреннего диаметра и длиной, то телекамеру можно расположить и центрировать по срезу трубы. В этом случае размер изображения противоположного торца трубы будет определяться по формуле: $r' = K \frac{R_2^2}{L \operatorname{tg} \beta}$. (3)

При известной длине можно определять внутренний радиус или при известном радиусе можно определять длину трубы. В общем случае, если известно расстояние от камеры до торца трубы, на который сфокусирована оптика, контролируемые размеры определяются по формулам:

$$R_1' = K \frac{R_1^2}{b \operatorname{tg} \beta}, \quad R_2' = K \frac{R_2^2}{b \operatorname{tg} \beta}, \quad d' = R_1' - R_2'. \quad (4)$$

Обработка изображения может проводиться программным и аппаратным способами. При *программной* обработке, которая делается на персональной ЭВМ, последовательность действий может быть следующей:

1. Фильтрация изображения (выделение контуров по уровню серого, так как торец, внутренняя область и фон освещены по разному).

2. Для каждого выделенного уровня серого определить общее количество пикселей (элементов ПЗС матрицы) заданной яркости, что будет соответствовать площади измеряемой фигуры.

3. Соотнести полученное число с измеряемым радиусом (диаметром) через формулу площади круга или кольца, в зависимости от конкретного режима съема изображения.

4. По одной из формул (1) – (4) определить длину, если радиус известен.

5. Провести анализ формы торца трубы, например по алгоритму, изложенному в [5].

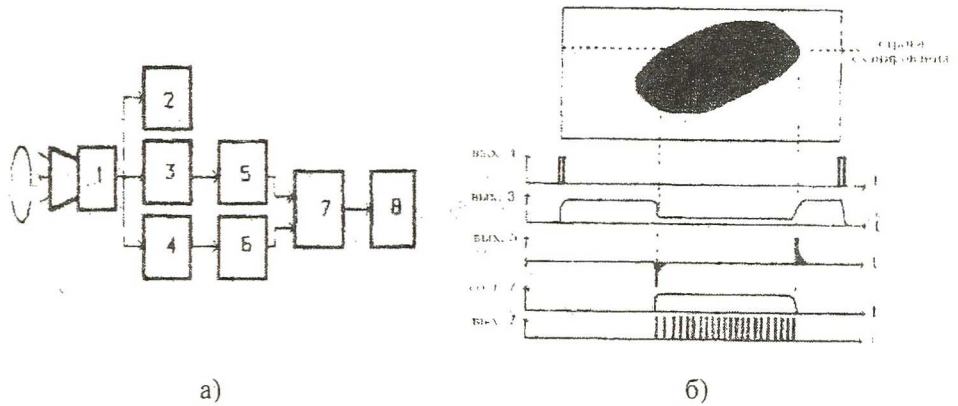


Рис. 3. Структурная схема устройства обработки видеосигнала (а) с диаграммой работы (б):

1 – телекамера. 2 – видеоконтрольное устройство. 3 – блок выделения видеосигнала. 4 – блок селекции строчных импульсов. 5 – дифференцирующее устройство. 6 – умножитель частоты. 7 – логический ключ. 8 – счетчик (устройство обработки)

Аппаратную обработку можно проводить по схеме, показанной на рис. 3. Устройство работает следующим образом. Видеосигнал телекамеры 1, сканирующей контролируемый объект, после выделения блоком 3 дифференцируется в блоке 5 и создает на его выходе импульсы, соответствующие границам фигуры для каждой строки сканирования (рис. 3б). Первый, отрицательный импульс дифференцирующего устройства 5, соответствующий левой границе фигуры в данной строке, открывает ключ 7, а второй положительный импульс, соответствующий правой границе фигуры, закрывает ключ 7. В течение открытого состояния ключа на вход счетчика 8 поступают импульсы с выхода умножителя частоты, на вход которого поступают строчные импульсы. Коэффициент умножения N умножителя частоты равен числу строк в кадре телекамеры, то есть выбирается из соотношения:
$$N = \frac{f_{\text{стр}}}{f_{\text{Л}}} \quad (5)$$

где f_c – частота строчных импульсов, f_k – частота кадровых импульсов. В этом случае общее число импульсов, поступивших в счетчик 8 в результате сканирования всего экрана, будет пропорционально площади фигуры и не будет зависеть от положения его в кадре. Действительно, при указанных условиях полной длине строки будет соответствовать N импульсов в счетчике, а полному экрану – $N \times N$ импульсов. Таким образом, весь экран разбивается равномерно на квадраты, где каждому элементарному квадрату площади соответствует один импульс в счетчике, то есть независимо от положения контролируемой фигуры, содержимое счетчика будет всегда соответствовать ее площади. При невыполнении соотношения (5) содержимое счетчика зависит от ориентации фигуры относительно центра экрана.

Учитывая высокий уровень развития вычислительной и оптоэлектронной видеотехники техники, способной работать в достаточно сложных климатических условиях для анализа формы и измерения торцевых размеров труб в процессе их выходного контроля в условиях производства предложенные методы следует признать перспективными. Здесь возможно применение процесса калибровки на эталонной трубе. Метод позволяет также проводить контроль одновременно нескольких труб, попадающих в зону захвата объектива телекамеры. Математическую модель можно ограничить законами геометрической оптики с обязательным учетом искажений объектива и дискретности фотоприемной матрицы, которые могут быть учтены через поправочные коэффициенты, определяющие конкретные условия измерений и характеристики применяемой элементной базы.

Список использованных источников

1. А.с. SU 1657960. Телевизионный способ измерения геометрических размеров объектов кольцевой формы./ Русинов Е.М / G 01 B 21/10. бюл. № 23. 1991.
2. Виноградов Е.Г., Глебова С.Н., Павлов В.Н. Применение унифицированного оптического датчика для контроля геометрических параметров труб. Измерительная техника. 1990 г., № 2, с. 23.
3. А.с. SU 1837160. Устройство оптико-телевизионного контроля. /Меледин Г.Ф./ МКИ G01B21/30. бюл. № 32. 1993.
4. А.с. SU 1312385. Устройство для измерения размера изделия./ Митрофанов А.С., Тарлыков В.А., Фефилов Г.Д./ МКИ G 01 B 21/02, бюл. № 19, 1987.
5. А.с. RU 2100777. Оптико - электронное устройство для контроля формы крупногабаритных деталей./Шилин А.Н./ G 01 B 21/10. б.и. № 36. 1997.
6. А.с. RU 2077701. Оптический прогибомер./ Енученко С.А., Коротаев В.В., Мусяков В.Л., Панков Э.Д., Тимофеев А.Н./ G 01 B 21/32. б.и. № 11. 1997.
7. Патент RU 2093790. Устройство для измерения площади плоских фигур./ Богуславский В.В., Фмельянов А.Н., Скворцов Б.В., Фокин В.А., Хабнбуллин Х.М./ G 01 B 21/28 б.и. № 29. 1997.