

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

О.В. Кретинин, А.П. Цапаев (НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

*Рассматривается проблема автоматизации визуального контроля внутренней поверхности труб внутренним диаметром 8...16 мм и длиной до 4 м. Приводится структура и состав аппаратной части системы, а также структура программного обеспечения. Предлагаются подходы к решению задач обнаружения и распознавания дефектов.*

*Ключевые слова: автоматизация, визуальный контроль, дефект, трубы, обработка изображений.*

### Введение

Инспекция внутренней поверхности труб осуществляется как на предприятиях-изготовителях, так и на предприятиях-потребителях труб, в частности при входном контроле, в организациях производителей парогенераторов. Парогенераторы, входящие в состав современной атомной электростанции, включают десятки тысяч отдельных труб, общая длина которых может достигать 124460 м. Требования к контролю указаны в технических условиях на соответствующие трубы и не допускают наличия дефектов, таких как плены, трещины, задиры и др. Визуальный осмотр проводится человеком и является субъективным. Оператор подвержен физическому и эмоциональному утомлению, качество контроля зависит от опыта. Кроме того, интенсивный путь повышения производительности инспекции связан с автоматизацией. Следовательно, автоматизация визуального контроля внутренней поверхности труб является актуальной задачей.

Ранее инспекция внутренней поверхности проводилась с помощью смотрового прибора РВП-469 (перископа) или приборов подобных ему. Осмотр велся вручную контролером. Качество получаемой картинки было невысоким. Следующим этапом в развитии стало появление цифрового эндоскопа. Качество получаемой картинки возросло многократно. Появление цифровых эндоскопов открыло возможность автоматизации визуального контроля посредством анализа и обработки цифровых изображений. Изображение внутренней поверхности трубы показано на рис. 1.

В настоящее время создано множество методов обработки изображений. Среди алгоритмов сегмен-

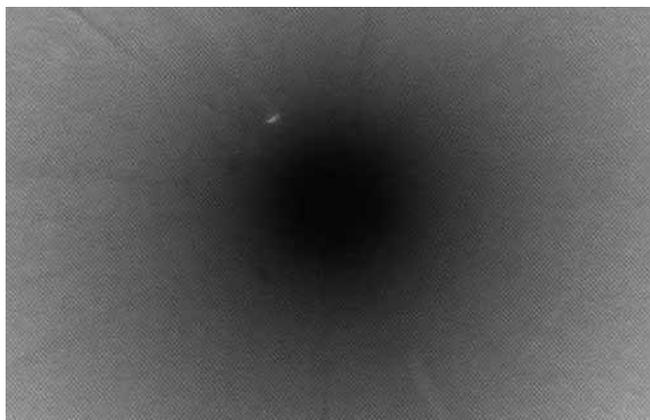
тации следует отметить методы водораздела, методы обнаружения границ, теоретико-графовые методы и др. [1, 2]. Из всего многообразия признаков, применяемых для распознавания, выделим: яркостные, гистограммные, признаки границы, моментные инварианты и др. [1, 2]. Однако многие из них применимы только в конкретной области.

Таким образом, встает проблема адаптации или разработки новых алгоритмов, обеспечивающих обнаружение и классификацию дефектов внутренней поверхности труб.

Производством систем визуального контроля поверхностей занимаются зарубежные фирмы: ISRA VISION PARSYTEC AG, Германия; Cognex Corporation, США; SURFACE INSPECTION, Великобритания, и др. Однако методы, лежащие в их основе, не публикуются в открытой печати, поскольку носят коммерческий характер.

Разработан целый ряд автоматизированных систем для контроля труб больших размеров (для нефтегазовой промышленности). В данном случае применяются колесные роботы. Возникают трудности в применении подобных подходов к трубам небольших диаметров.

Известны автоматизированные системы контроля металлопроката, разработанные НПК "Малленом" (г. Череповец). Некоторые из них основываются на богатой базе изображений эталонных и дефектных участков различного вида [3]. В условиях отсутствия данной базы применение метода представляется затруднительным. Кроме того, принципы контроля, а также характеристики дефектов поверхности проката и внутренней поверхности труб отличаются.



а)



б)

Рис. 1. Изображение внутренней поверхности трубы: а) без дефектов; б) с дефектами

Таким образом, актуальной является задача создания автоматизированной системы визуального контроля внутренней поверхности труб малых диаметров (внутренним диаметром от 8 мм) и методов обнаружения и классификации дефектов внутренней поверхности труб, предназначенных для автоматизации визуального контроля.

В системе применяются разработанные авторами алгоритмы:

- предварительной обработки изображений внутренней поверхности трубы, позволяющие выделять информативную область на изображении, а также соединять различные участки вместе;

- обнаружения дефектов внутренней поверхности труб, позволяющие определять наличие дефекта и его местоположение [4].

Для использования в подсистеме распознавания определен набор признаков, позволяющий разделять дефекты на различные классы.

В рамках работы создан прототип автоматизированной системы визуального контроля в целях отработки принципов автоматизации визуального контроля внутренней поверхности труб, а также проверки алгоритмического обеспечения системы. Исследования выполнялись на кафедре «Автоматизация машиностроения» НГТУ им. Р. Е. Алексеева.

#### Аппаратная часть системы

Для осмотра внутренней поверхности труб используется эндоскоп Olympus IPLEX SA (рис. 2), имеющий шнур длиной 4,5 м и диаметром 6 мм. Для захвата видео применяется следующее оборудование фирмы National Instruments: ПК PXI 8170, плата захвата видео Image Acquisition 1408.

При создании прототипа автоматизированной системы визуального контроля внутренней поверхности труб была выбрана схема, при которой гибкий шнур эндоскопа перемещается внутри трубы посредством привода подачи. Схема перемещения представлена на рис. 3.

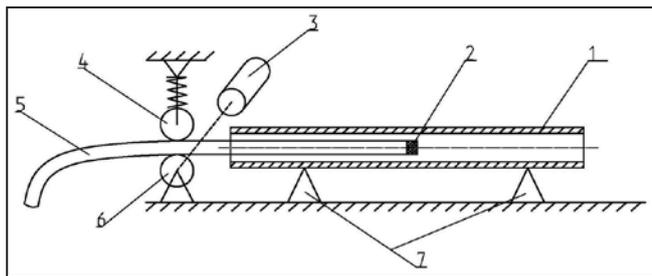


Рис. 3. Схема визуального контроля внутренней поверхности трубы прямым объективом. 1 – труба; 2 – объектив; 3 – шаговый двигатель; 4 – ведомый ролик; 5 – гибкий шнур эндоскопа; 6 – ведущий ролик; 7 – опоры



Рис. 2. Внешний вид цифрового эндоскопа Olympus IPLEX SA

Осмотр внутренней поверхности труб ведется прямым объективом. Однако при добавлении дополнительной координаты вращения трубы возможно осуществление осмотра боковым объективом, что позволит, в том числе осматривать трубы больших диаметров. Перемещение шнура эндоскопа осуществляется посредством фрикционного механизма. Шнур зажат между двумя роликами: ведущим и ведомым. Вращение ролика осуществляется шаговым двигателем. Система может выполнять управляемое перемещение на дискретный шаг, ускоренное перемещение после осмотра, перемещение с заданной скоростью.

Управление приводом осуществляется с помощью ПК PXI 8170, платы управления двигателем Motion Controller 7344 и усилителя мощности MID-7604 от фирмы National Instruments.

#### Программная часть системы

Функциональность программы, управляющей процессом контроля (рис. 4):

- управление шаговым двигателем (перемещение шнура эндоскопа);
- вывод на экран изображения внутренней поверхности;
- обработка изображений в автоматическом режиме, включая предварительную обработку, обнаружение и распознавание дефектов.

Все задачи реализованы и исследованы в программном продукте MATLAB.

#### Оригинальные алгоритмы, разработанные в рамках данной системы

Алгоритм предварительной обработки выделяет информативную область на изображении, исключая неинформативную (центральная область, периферия) (рис. 5).

1. Выделить на изображении кольцо определенного размера, имеющее наименьшее число искажений.
2. Разбить кольцо на отдельные окружности.
3. Сопоставить каждую окружность кольца со строкой прямоугольного массива.

4. Привести каждую строку массива к длине средней окружности кольца. При этом большие строки пропорционально уменьшаются, а меньшие пропорционально растягиваются, используя метод интерполяции.

Алгоритмы обнаружения дефектов вычисляют функцию спектральной плотности участка изображения и выполняют сравнение ее формы с соседним участком. Выходом алгоритма является местоположение дефекта на изображении. Укрупнено алгоритм может быть представлен следующим образом.

1. На изображении выделяются расположенные рядом участки.

2. Для каждого из этих участков вычисляется функция спектральной плотности.

3. Вычисляется коэффициент изменения формы спектра между данными участками. Представим функцию спектральной плотности изображения как точку в многомерном пространстве, в котором осями являются соответствующие пространственные частоты. Тогда евклидово расстояние между двумя точками будет характеризовать изменение формы спектра.

4. Вычисления п. 1–3 проводятся в каждой точке изображения.

5. Выполняется сравнение значений коэффициента с пороговым уровнем. В точках, где коэффициент превышает пороговый уровень, имеется дефект.

Алгоритмы распознавания дефекта вычисляют признаки обнаруженной области дефекта и производят их классификацию на отдельные группы. В качестве признаков применяются геометрические и текстурные. Для вычисления текстурных признаков используется банк ориентированных фильтров. Для определения геометрических признаков вычисляются параметры эквивалентного эллипса.

#### Эффективность предложенных алгоритмов

Изображение, получаемое от эндоскопа, имеет размер 640x480 пикс. При осмотре трубы внутренним диаметром 8 мм на изображении выделяется кольцо следующих размеров:  $R_{\min}=169$  пикс.;  $R_{\max}=229$  пикс. При этом после развертки получается изображение для исследования размерами 60x1250 пикс. При указанных параметрах шаг осмотра составляет 2,6 мм.

Определено время работы подсистемы обнаружения дефектов поверхности. Работа данного блока состоит из двух этапов:

- развертка информативного кольца  $t_1 = 0,65$  с;
- обнаружение дефектов  $t_2 = 1,7$  с.

Общее время цикла составляет  $t_{\text{ц}} = 2,35$  с. Оценка времени расчета производилась на ПК со следующими параметрами: процессор с тактовой частотой 1,66 ГГц; ОЗУ 1 Гб.

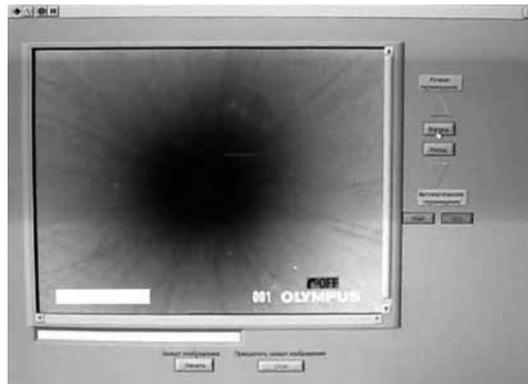


Рис. 4. Интерфейс программы управления процессом контроля

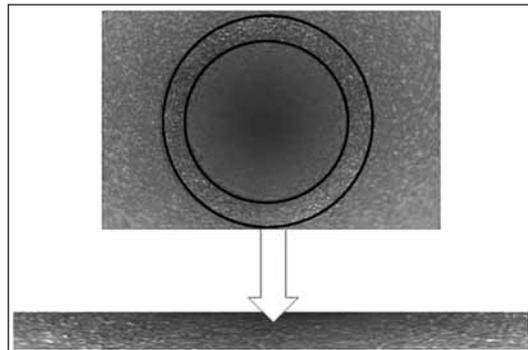


Рис. 5. Схема преобразования кольца изображения в прямоугольное изображение

Таким образом, производительность контроля трубы внутренним диаметром 8 мм составляет  $P_t = 3,96$  м/ч. Однако при увеличении вычислительных мощностей (например, использование 6-ядерного процессора) возможно повышение производительности до  $P_t = 19,8$  м/ч. Для сравнения, производительность осмотра контролером составляет 11...16 м/ч. Таким образом, применение предложенных методов позволит поднять производительность операции контроля внутренней поверхности труб. В то же время главным эффектом от автоматизации является исключение субъективности, которое позволяет устранить человеческий фактор.

#### Заключение

В работе описана автоматизированная система визуального контроля внутренней поверхности труб внутренним диаметром 8...16 мм. Приводится обзор оригинальных методов обработки изображений, применяемых в системе. Автоматизированная система может быть использована на предприятиях-производителях труб как отдельное средство контроля, так и в составе АСУТП. Кроме того, можно применять систему на предприятиях-потребителях труб в тех отраслях, где предъявляются высокие требования к качеству (атомное машиностроение). Внедрение подобной системы на предприятии позволит исключить субъективность из процесса контроля, тем самым повысив качество, а также увеличить производительность.

#### Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М. Техносфера. 2006.
2. Форсайт Дэвид А., Понс Жан. Компьютерное зрение. Современный подход. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2004.
3. Ульянов А.Н., Царев В.А. Вейвлет-анализ и нейросетевая классификация полутоновых изображений в системах технического зрения. Череповец. ИНЖЕКОН-Череповец, 2010.
4. Кретинин О.В., Цапаев А.П. Методы сегментации изображений в задачах обнаружения дефектов поверхности // Компьютерная оптика. Т. 36. 2012. №3.

Кретинин Олег Васильевич — д-р техн. наук, проф., Цапаев Алексей Петрович — аспирант НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Контактный телефон (831) 436-82-40.  
E-mail: kretinin@list.ru alexgrusp@mail.ru