УДК 004.932, 621.791 : 621.643

На правах рукописи

Тет Аунг

РАЗРАБОТКА ВИДЕОКОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

По специальностям: 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в технических системах)
05.02.11 - Методы контроля и диагностика в машиностроении

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
Кандидата технических наук

Москва – 2015 г.

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана на кафедре систем автоматического управления.

Научный руководитель: Кандидат технических наук, доцент
Гаврилов Александр Игоревич
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени н.э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Официальные оппоненты: **Дивеев Асхат Ибрагимович**
д.т.н., профессор, зав. сектором проблем кибернетики ФГБУН Вычислительного центра им. А.А. Дородницына. РАН.

Бродягин Владимир Николаевич
к.т.н., доцент, Главный сварщик, ГУП, «МОСГАЗ».

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО МГУПС (МИИТ)**

Защита диссертации состоится 29 сентября 2015 г. в 16 ч. 30 мин на заседании диссертационного совета Д 212.141.02 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 05005, Москва, Госпитальный пер., д. 10, ауд. 613м.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте www.bmstu.ru МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ваш отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью организации, просим направлять по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1, МГТУ им. Н.Э. Баумана, учёному секретарю диссертационного совета Д 212.141.02.

Автореферат разослан « » _____2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.141.02

Кандидат технических наук И.В. Муратов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. При строительстве магистральных трубопроводов возникает ряд актуальных задач, таких как снижение уровня брака при сварке стыковых соединений, увеличение производительности процесса сварки, повышение уровня вероятности обнаружения дефектов. При этом различного характера возмущения при строительстве трубопроводов, не позволяют достичь такого качества строительства и эксплуатации трубопроводов, при котором полностью исключается вероятность появления дефектов. Данные анализа Рос - технадзора аварийности на трубопроводах, которые показывают, что основными причинами аварий являются внешние физические воздействия на трубопроводы (34,7 %), нарушения норм и правил производства работ, отступления от проектных решений (24,7 %), коррозионные повреждения (23,5 %), нарушения технических эксплуатационного и ремонтного персонала (4,7 %). Необходимость внедрения нового поколения оборудования для сварки неповоротных стыков труб обусловлена не только требованиями к повышению производительности сварки, но и необходимостью обеспечения высокой надёжности и качества сварных соединений.

Решение указанных проблем может быть достигнуто применением принципиально новых адаптивных цифровых технологий сварки и соответствующего оборудования, обеспечивающих:

- снижение уровня брака при сварке стыков труб;
- увеличение производительности процессов сварки;
- повышение уровня вероятности обнаружения дефектов;
- обеспечение требуемого качества сварки за счёт снижения роли человеческого фактора.

Это определяет актуальность темы диссертации и диктует необходимость дальнейшей разработки интегрированных систем автоматического управления процессом сварки с возможностями адаптивной коррекции на основе данных видеомониторинга и лазерной профилометрии.

Цель диссертационной работы. Основной целью диссертационной работы является разработка исследование и реализация алгоритмов цифровой обработки изображений в системе автоматического контроля качества сварных соединений по данным видеомониторинга.

В соответствии с указанной целью определены следующие задачи исследований:

1. Провести анализ способов получения цифровых изображений протяжённых сварных соединений.

2. Исследовать типовые структуры систем технического зрения и алгоритмы цифровой обработки изображений.

МГТУ
им Н Э Баумана
БИБЛИОТЕКА

3. Разработать структуру и принципы функционирования подсистемы распознавания дефектов сварных швов по изображениям протяжённых сварных соединений магистральных трубопроводов.

4. Разработать методики и процедуры обнаружения дефектов протяжённых сварных соединений магистральных трубопроводов.

5. Разработать алгоритмическую и программную реализацию автоматической системы локализации дефектов сварных соединений.

6. Провести моделирование системы обнаружения дефектов сварного шва.

Методы исследований. В процессе выполнения диссертационной работы использовались методы теории математического моделирования, теории автоматического управления, теории цифровой обработки информации и др. Кроме того, использовались методы численного моделирования разработанных алгоритмов. При моделировании применялись пакеты прикладных программ Matlab - SimuLink.

Научная новизна работы. На основе анализа, систематизации и обобщения научных достижений в таких областях, как теория автоматического управления, теория цифровой обработки информации, разработан подход к решению задачи анализа качества сварных соединений в адаптивных системах автоматического управления процессом сварки.

1. Проведён анализ способов получения цифровых изображений протяжённых сварных соединений.

2. Исследованы типовые структуры систем технического зрения и алгоритмы цифровой обработки изображений.

3. Разработана структура и принципы функционирования подсистемы распознавания дефектов сварных швов по изображениям протяжённых сварных соединений магистральных трубопроводов.

4. Разработаны методики и процедуры обнаружения дефектов протяжённых сварных соединений магистральных трубопроводов.

5. Разработана алгоритмическая и программная реализации автоматической системы локализации дефектов сварных соединений.

6. Проведено моделирование системы обнаружения дефектов сварного шва.

Эффективность разработанных методик, процедур и алгоритмов подтверждена результатами моделирования цифровой адаптивной системы управления сварочным процессом на базе сварочной установки ГАСТ-1 НПП «Технотрон» с инверторным источником питания ДС 400.33 и модернизированной сварочной головкой «ГАСТ-1», оснащённой лазерным сканером профиля стыка и видеокамерой.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем: Разработаны эффективные методики и технологии контроля качества сварных соединений по результатам видеомониторинга поверхности сварных швов. Предложенные методики и технологии открывают новые возможности для повышения эффективности сварочного производства и могут быть использованы при создании адаптивных систем управления технологическим процессом сварки. Предложенные подходы также могут быть использованы для протоколирования сварочных процессов и контроля состояния магистральных трубопроводов большого диаметра.

Реализация результатов работы. Основной сферой использования полученных результатов являются автоматические системы управления сварочными процессами. Методики и алгоритмы цифровой обработки изображений, предназначенные для оценки качества и протоколирования процесса сварки использованы при создании цифровой адаптивной системы управления сварочным процессом на базе сварочной установки ГАСТ-1 НПП «Технотрон» с инверторным источником питания ДС 400.33 и модернизированной сварочной головкой «ГАСТ-1», оснащённой лазерным сканером профиля стыка и видеокамерой.

Положения, выносимые на защиту. Методики и процедуры обнаружения дефектов протяжённых сварных соединений магистральных трубопроводов для интегрированных информационных систем сварочных технологических комплексов. Алгоритмическая реализации процедуры анализа качества сварных швов по цифровым изображениям автоматической системы локализации дефектов сварных соединений.

Личный вклад автора заключается: в постановке основных задач исследования и разработке процедур их решения; в формировании процедур и методики оценки качества сварных соединений на основе данных видеокомпьютерного мониторинга, в компьютерном моделировании разработанных алгоритмов на базе современных программно-технических средств.

Достоверность и обоснованность результатов проведёниых исследований подтверждается использованием известных закономерностей и апробированных методик; соответствием методов исследования поставленным целям и задачам; сочетанием количественного и качественного анализа результатов; применением современных методов статистической обработки данных; непротиворечивостью результатов.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации представлялись, обсуждались и были приняты на научном семинаре кафедры систем автоматического управления ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана, а

также на международных симпозиумах и конференциях: конференция МГТУ им. Н.Э. Баумана «Студенческая весна» (Москва, 2010, 2012, 2013г), международный симпозиум «Интеллектуальные системы» (Москва, 2010г, 2012г, 2014г).

Публикации. Основные положения диссертации изложены в десяти публикациях, в том числе – в трёх статьях в журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 101 наименований. Основная часть работы составляет 143 страниц машинописного текста, 11 таблиц и 109 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется ее цель, научная новизна, приводятся полученные результаты, решённые практические задачи и структура работы.

В первой главе приводится обзор методов автоматизированного визуального контроля АВК для дуговой сварки и методов обработки изображений для дуговой сварки в системах АВК.

В системах активного АВК используется лазер или структурированный свет с целю получения чёткого изображения и избежания эффекта влияния подсветки от дуги. Лазеры отличаются высокой интенсивностью, направленностью, монохроматичностью и когерентностью. Системы активного АВК как правило используют датчик, состоящий из лазерного диода и CCD - камеры, для получения профиля шва, решения задачи наведения на стык, слежения за траекторией сварочной горелки и для оценки качества сварки.

Системы пассивного АВК используют излучение жидкого металла сварочной ванны и дуги. Один из способов построения систем пассивного АВК – это наблюдение изображения вблизи дуги сварочной ванны и отражённого света дуги с интервалом, равным линии спектра дуги, с целью избежания влияния со стороны сильных линий спектра дуги. Систем пассивного АВК, основанные на получении информации о сварном шве на основе видеокамеры могут использоваться для детектирования дефектов. В данной работе предлагаются процедуры автоматического детектирования дефектов, основанные на методах и алгоритмах цифровой обработки изображений для двух режимов функционирования – «онлайн» - в процессе сварки (Рисунок 1), и «офлайн» - после сварки (Рисунок 2). с использованием панорамных

изображений (развёрток) сварного шва. Также в первой главе приводится основные требование предъявляемые к внешней поверхности и возможные причины возникновения дефектов (Рисунок 3).

Рисунок 1 - Процедура обнаружения дефектов в режиме офлайн

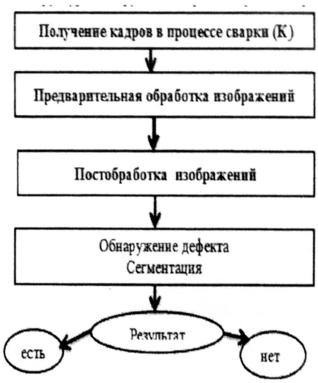
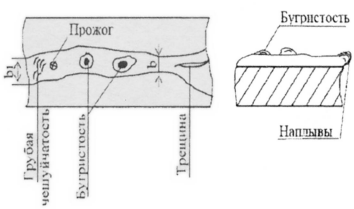
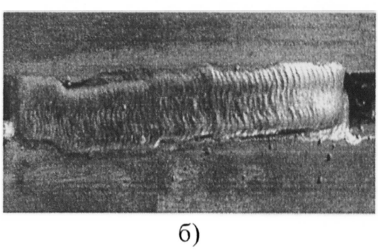


Рисунок 2 - Процедура обнаружения дефектов в режиме онлайн



а)



б)

Рисунок 3 - Дефекты сварных соединении; а) типы внешних дефектов сварного шва, б) изображение сварного шва с дефектами

Качество сварных соединений во многом зависит от геометрических параметров шва, его внешнего вида и других особенностей, которые можно определить методами цифровой обработки изображений на основе данных видеомониторинга [8,10]. С помощью методов цифровой обработки изображений возможно решить ряд задач, которые прямо или косвенно указывают на наличие дефектов сварного шва, их размер и местоположение, а также дают возможность прогнозирования появления дефектов. К этим задачам относятся:

- обнаружение кромок разделки стыка и центра разделки стыка (траектории перемещения сварочной горелки) для решения задачи слежения за стыком по данным априорного видеомониторинга (Рисунок 4 и Рисунок 5);

- определение ширины сварного шва с целью выявления отклонений его геометрических параметров от допустимых значений (Рисунок 6 и Рисунок 7);

- определение координат средней линии шва с целью обнаружения отклонения шва от заданной траектории сварки (Рисунок 8 и Рисунок 9)

- сегментация изображений шва с целью локализации дефектов, определения их геометрических размеров и местоположения (Рисунок 10 и Рисунок 11).

При сварке толстостенных стыковых соединений магистральных трубопроводов большого диаметра используются специальные способы подготовки труб [5], определяемые технологией сварки. Типичный профиль разделки представлен на Рисунок 4.

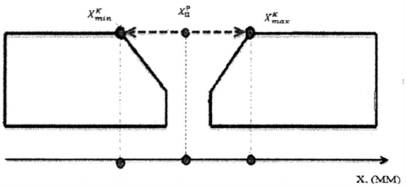


Рисунок.4 - Типичный профиль разделки стыка

Для решения задачи геометрической адаптации необходимо определить координаты центра разделки – траекторию движения сварочной горелки и координаты кромок, задающее ширину разделки и, соответственно, размах колебаний сварочной горелки (Рисунок 5).

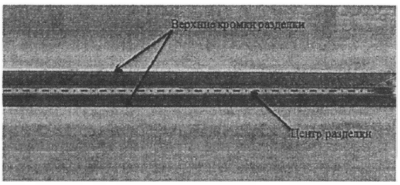


Рисунок 5 - Обнаружение кромок и центра разделки стыка (до сварки)

Координаты центра разделки стыка $x_ц{}^р$ определяется следующим соотношением:

$$x_ц{}^р = \frac{[x_{\max} - x_{min}]}{2} + x_{min} \quad (1)$$

Где x_{max} и x_{min} – координаты кромок разделки стыка. Ширина сварного шва определяется следующим соотношением:

$$w = (x_{max} - x_{min}), \quad (2)$$

Ширина сварного шва должна находится в определенных пределах, определяемых регламентирующими документами. Таким образом по границам сварного шва (Рисунок 6) можно определить наличие дефектов, которые связаны с недопустимой шириной шва (Рисунок 7). Если $w_{min} \leq w \leq w_{max}$, тогда шов качественный, иначе имеет место дефект, связанный с недопустимой ширины сварного шва.

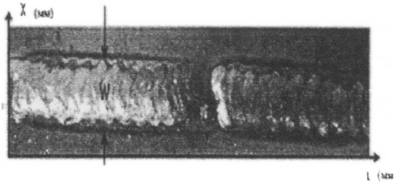


Рисунок 6 - Определение границ шва и вычисление ширины сварного соединения.

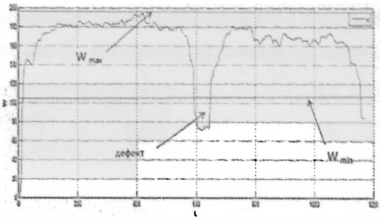


Рисунок 7 - Область допустимых значений ширины шва и детектирование дефекта.

В процессе сварки может произойти нежелательное отклонение перемещения сварочного оборудования относительно заданной траектории движения (центра разделки), что в свою очередь, приведёт к смещению сварного шва относительно заданного положения (Рисунок 8).

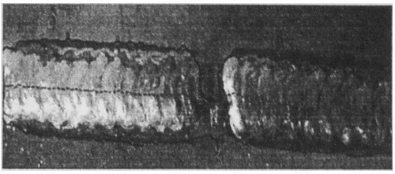


Рисунок 8 - Смещение сварного шва относительно заданного положения (центра разделки)

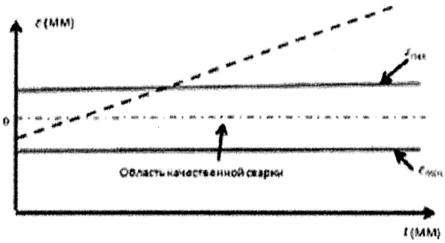


Рисунок 9 - Отклонение центра шва от центра разделки

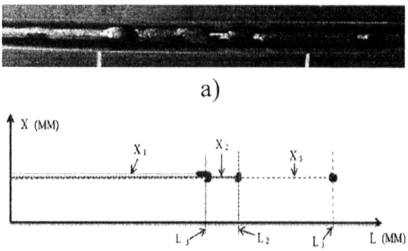


Рисунок 10 - Определения дополнительных геометрических характеристики дефекта: а) исходное изображение с дефектами. б) локализация дефектов сварного шва

Координаты отклонения сварного шва ε определяется следующим соотношением:

$$\varepsilon = \left|x_{ц}^{р} - x_{ц}^{ш}\right| \quad (3)$$

Где $x_{ц}^{ш}$ – координаты средней линии сварного шва. Зная координаты центра разделки (желаемой траектории) можно определить величину отклонения. В случае, если $\varepsilon > \varepsilon_{max}$ или $\varepsilon < \varepsilon_{min}$ то имеет место дефект (Рисунок 9). Основной задачей контроля качества сварных соединений является обнаружение дефектов, оценка их геометрических характеристик и местоположения (Рисунок 10). После того, как дефекты обнаружены (локализованы), с целью дальнейшей их классификации могут быть определены

дополнительные геометрические характеристики [5], такие, как центроиды, площадь, размеры описанной окружности или прямоугольника (Рисунок 11).

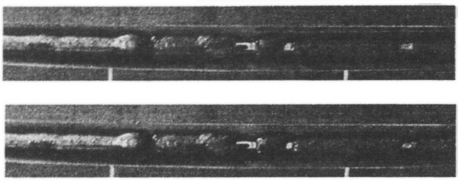


Рисунок 11 - Локализация дефектов сварного шва

Во второй главе приводится обзор существующих методов цифровой обработки изображений для обнаружения дефектов сварного шва. Представлены методы предварительной обработки изображений: преобразование цвет-полутон, гамма коррекция, гистограммная эквализация, фильтрация изображений, бинаризация изображений, а также рассмотрены методы постобработки изображений; морфологические операции, сегментация изображений метод выделения краёв, сегментация изображений метод водораздела и. др.

Фильтрация изображения является первым этапом процедуры предварительной обработки. Наиболее эффективен в инженерных приложениях медианный фильтр:

$$med = \arg \min_{I_{i \in w}} \sum_{I_j \in w} |I_i - I_j| \tag{4}$$

Где w - множество пикселей, среди которых ищется медиана, I_i - значения яркостей этих пикселей. Непосредственно после улучшения изображения часто выполняют бинаризацию. Задача бинаризации состоит преобразовании полутонового изображения в бинарное. В процессе бинаризации выбирают пороговое значение яркости, которое разделяет область объекта и область фона. Выходное бинаризованное изображение содержит две градации яркости: 0 или 1.

$$I'_{(i,j)} = \begin{cases} 1, I_{(i,j)} \geq T \\ 0, \text{иначе} \end{cases}, \tag{5}$$

где T - Порог, I – яркость (интенсивность). Математическая морфология - теория и техника анализа и обработки геометрических структур, основанная на теории множеств, топологии и случайных функциях [1,9,5]. Основными операциями математической морфологии являются наращивание изображения, эрозия, замыкание и размыкание [1,9,5]. Метод водораздела, также называемый преобразованием водораздела, – это основанный на областях метод математической морфологии [1,9,5]. Пусть $M_1, M_2, \ldots, M_n$ – множества точек

координатной плоскости, соответствующие локальным минимумам поверхности $g(x,y)$; $g(x,y)$ обычно является градиентным изображением. Обозначим через $C(M_i)$ множество точек, отвечающего локальному минимуму M_i (точки любого бассейна образуют компоненту связности). Обозначения min и max будем использовать для указания наименьшего и наибольшего значений яркости изображения $g(x,y)$. Наконец, запись $T[n]$ означает множество точек (s,t), для которых $g(s,t) < n$, т.е.

$$T[n] = \{(s,t) \mid g(s,t) < n\} \tag{6}$$

С геометрической точки зрения, $T[n]$ есть множество точек, в которых поверхность $g(x,y)$ лежит ниже плоскости $g(x,y) = n$.

Также во второй главе представлены основные понятия теории распознавания образов, принципы построения систем распознавания образов, особенности систем и методов распознавания в задачах видеомониторинга сварочных процессов, основные принципы построения систем распознавания видеомониторинга сварочных процессов. Типовая процедура проектирования системы распознавания образов представлена на Рисунок 12.

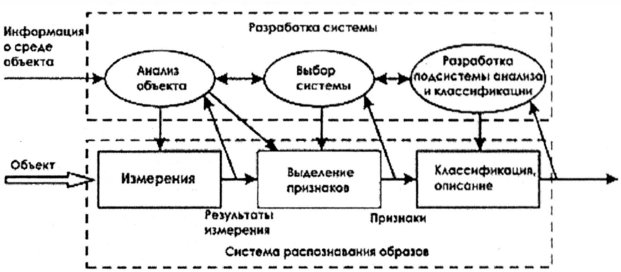


Рисунок 12 - Типовая процедура проектирования системы распознавания образов

Для каждой из поставленных задач оценки качества сварных соединений возникает необходимость в разработке специфической процедуры для обработки изображений, учитывающей особенности задачи. Алгоритм обнаружения кромок разделки стыка и определения средней линии разделки стыка представлены на Рисунок 13.

В задаче обнаружения кромок разделки стыка целесообразно использовать методы предварительной обработки изображений – преобразование цветного изображения в полутоновое, фильтрацию, коррекцию яркости и контроности изображения, выделение краёв. Алгоритм определения ширины сварного шва для детектирования дефекта представлен на Рисунок 14. В этой задаче

целесообразно использовать методы цифровой обработки изображений, также как медианная фильтрация, коррекция яркости – гамма коррекция, пороговая бинаризация, определение порога по гистограмме, выделение краёв. Для постобработки целесообразно использовать морфологические операции для устранения шума, вычисление ширины шва и определение его геометрических параметров шва. Алгоритм определения координаты средней линии шва представлен на Рисунок 15.

Рисунок 13 - Алгоритм обнаружения кромок разделки стыка и определения средней линии разделки стыка

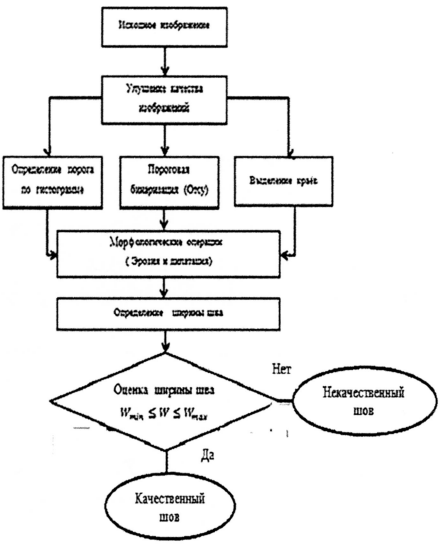


Рисунок 14 - Алгоритм определения ширины сварного шва для детектирования дефекта

Основной задачей контроля качества сварных соединений является обнаружение дефектов, оценка их геометрических параметров и его местоположения. Для решения этой задачи используются методы цифрой обработки изображений; для улучшения качества изображений - медианная фильтрация, гистограммная эквлизация, гамма-коррекция. Для локализации объектов используется пороговая бинаризация, определение порога по гистограмме, выделение краёв с помощью операторов Канни и Собеля. Для постобработки используется математическая морфология, метод водораздела, выделение признаков объектов, вычисление геометрические характеристик дефектов сварного шва. Алгоритм локализации дефектов сварного шва представлен на Рисунок 16.

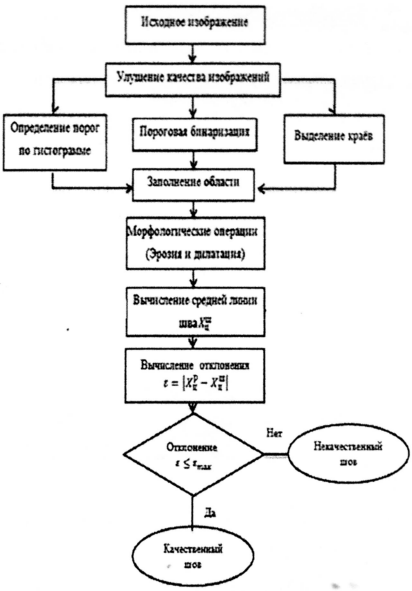


Рисунок 15 - Алгоритм определения координаты средней линии шва и отклонения сварного шва

Рисунок 16 - Алгоритм локализации и классификации дефектов сварного шва

<u>В третей главе</u> приводится структура и основные принципы функционирования программно-аппаратной системы мониторинга сварочных процессов, представлена программная реализация системы мониторинга сварочных процессов. Приведены результаты моделирования системы детектирования дефектов сварного шва. Система видеомониторинга сварочных процессов (Рисунок 17) является частью автоматизированного сварочного комплекса на основе орбитальной сварочной установки УАСТ-1 (Рисунок 18).

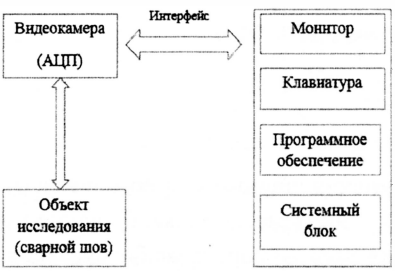


Рисунок 17 - Структура системы детектирования дефектов

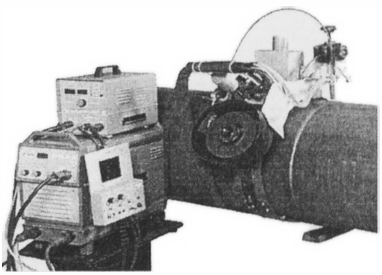


Рисунок 18 - Установка для орбитальной сварки УАСТ-1 НПП «Технотрон»

Моделирования функционирования системы детектирования дефектов сварных соединений в соотвествии с задачами, поставленными в работе, и предложенными в Главе 2. алгоритмами проводилось на изображении сварных соединений кольцевх стыков труб диаметра 1.42м, выполненных по технологиям, регламентированым производителем оборудования. Результаты обнаружения кромок с использованием цифровой обработки изображений представлен на Рисунок 19.

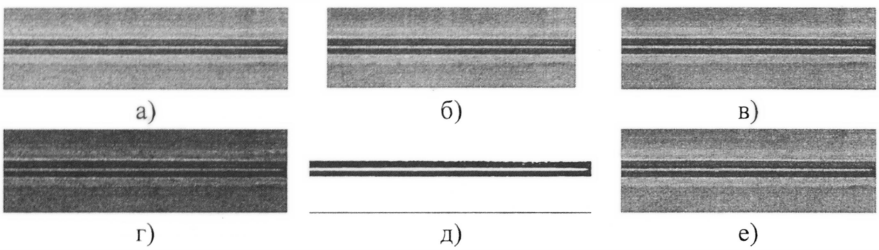


Рисунок 19 - Основные этапы процедуры обнаружения кромок разделки стыка с использованием пороговой бинаризации: а) исходное изображение, б) преобразование цвет в полутон, в) медианая фильтрация, г) гистограммная эквализация, д) выделение краёв методом Канни. е) окончательный результат обнаружения кромок.

Результаты определения ширины сварного шва и отклонения сварного шва от заданной траектории сварки представлен на Рисунок 20. Результаты локализации дефектов сварного шва представлен на Рисунок 21.

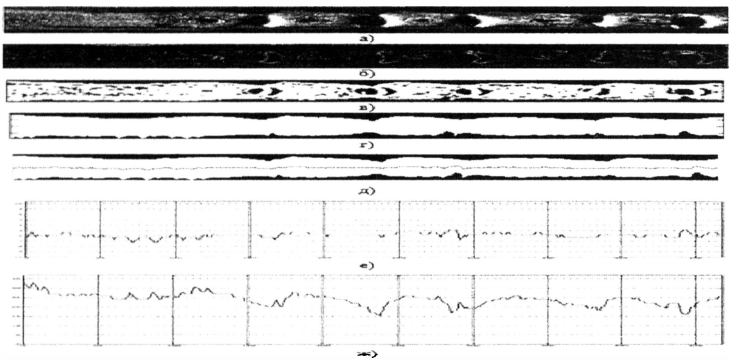


Рисунок 20 - Результаты определения ширины сварного шва и отклонения сварного шва: а) исходное изображение сварного шва: б) использование оператора градиента на изображении, в) пороговая бинаризация на изображении (t=0.028), г) заполнение области на изображении, д) определение средней линии сварного шва, е) определение отклонения сварного шва от заданной траектории сварки. ж) определение ширины сварного шва.

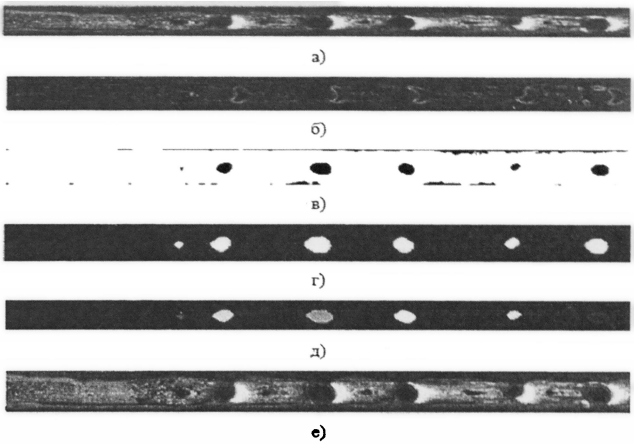


Рисунок 21 - Результаты локализации дефектов сварного шва: а) исходное изображения, б) результат применения градиентного фильтра на изображении, в) результат применения пороговой бинаризации, г) результат применения морфологических операций (дилатация и эрозия). д) результат применения метода водораздела, е) окончательный результат сегментации на исходном изображении.

Реальный размер объекта (дефекта) может быть определён путём преобразования пиксельных координат изображения в координаты реального мира (Рисунок 22).

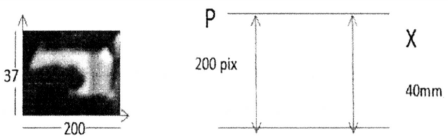


Рисунок 22 - Пересчет размеров дефекта

Основные соотношения для вычисления реальных размеров дефекта:

$$1 \text{ Pix} = \frac{X}{p} = \frac{40}{200} = 0.2 \text{ мм} \tag{7}$$

S_{pix} = 0.2 x 0.2=0.04 мм^2, S_{pix} – реальный размер объектов

На Рисунок 23. представлен результат определения расположения дефектов можно методом проекции. Провести классцификацию дефектов сварного шва, также можно с помощью корреляционного метода (Рисунок 24). В этом случае определяется коэффициент коррекляции шблона, содержащего дефект, и изображения.

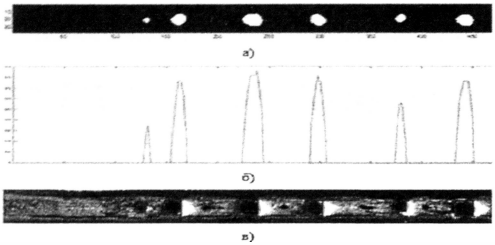


Рисунок 23 - Локализация дефектов сварного шва: шва методом проекций. в) определение дополнительных геометрических характеристик

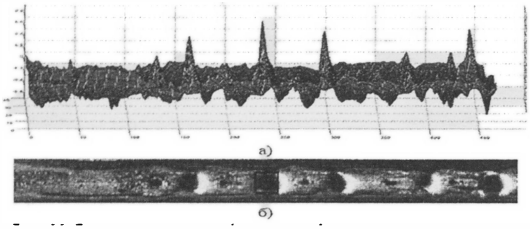


Рисунок 24 - Результаты классификации дефектов сварного шва с помощью корреляционного метода: а) Корреляционная функция, б) Результат локализации дефекта на исходном изображений

Сравненительный анализ результатов применения алгоритмов цифровой обработки изображений для решения задач анализа качества сварных швов представлены в Таблице. 1 и на Рисунок 25.

Таблица 1.

Балльная оценка (1-10) эффективности применения алгоритмов по задачам контроля и качества сварных соединений.

Задачи	Метод				
	Пороговый	Выделение краёв (Собель)	Выделение краёв (Канни)	Водоразд-ела	Гистогра-ммный
Обнаружение кромок	5	9	8	8	6
Определение ширины шва	5	4	4	8	5
Отклонение центра	4	3	4	7	5
Локализация дефектов	2	7	3	5	4

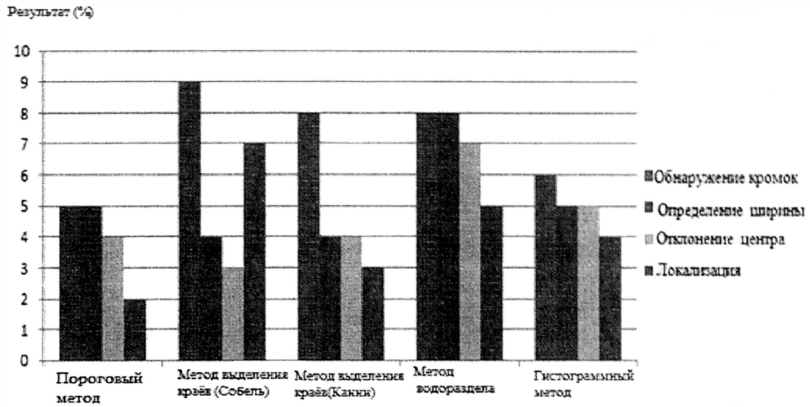


Рисунок 25 - Анализ результатов для обнаружения дефектов сварного шва

В заключение приведены основные выводы и результаты, полученные в диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведён анализ способов получения цифровых изображений протяжённых сварных соединений.
2. Исследованы типовые структуры систем технического зрения и алгоритмы цифровой обработки изображений.
3. Разработана структура и принципы функционирования подсистемы распознавания дефектов сварных швов по изображениям протяжённых сварных соединений магистральных трубопроводов.
4. Разработаны методики и процедуры обнаружения дефектов протяжённых сварных соединений магистральных трубопроводов.
5. Разработана алгоритмическая и программная реализации автоматической системы локализации дефектов сварных соединений.
6. Проведено моделирование системы обнаружения дефектов сварного шва.

ОСНОВНЫЕ ТРУДЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основное содержание, положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. **Адаптивная система управления сварочным оборудованием / Тет Аунг [и др.]. М.: «Инженерный вестник Дона». 2014. №2- http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2385. Загл. с экрана. Яз. Рус (Дата обращения 15.1.2015).**
2. **Гаврилов А.И., Тет Аунг. Применение методов сегментации изображений в задачах обнаружения дефектов поверхности сварных**

соединений // Вестник ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Приборостроение" №5 2014г. С. 124-132 (0,19п.л./0,04п.л.).

3. Классификаторы сварочных дефектов / Тет Аунг [и др.] Студенческий научный вестник. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. Том XII, Часть-1.С. 35-38(0,25п.л./0,06п.л.).
4. Микропроцессорная система видеокомпьютерного мониторинга / Тет Аунг [и др.]. Молодёжный научно-технический вестник (Москва). 2014г. http://sntbul.bmstu.ru/doc/737905.html. (Дата обращения 23.12.2014).
5. Нейросетевой классификатор сварочных дефектов / Тет Аунг [и др.] Интеллектуальные системы: Труды девятого международного симпозиума. М.: РУСАКИ, 2010г. С. 614-615 (0,125п.л./0,062п.л.).
6. Нейросетевые технологии в задаче управления электроприводом постоянного тока / Тет Аунг [и др.] Интеллектуальные системы: Труды восьмого международного симпозиума. М.: РУСАКИ, 2008г. С. 631-635 (0,25п.л./0,0062п.л.).
7. **Применение технологий цифровой обработки изображений в нейросетевых системах управления сварочным оборудованием / Тет Аунг [и др.]. Науковедение. Интернет журнал Том 7, №1, 2015. http://naukovedenie.ru/PDF/64TVN115.pdf. Загл. с экрана. Яз. Рус (Дата обращения 15.2.2015) (0.43п.л/0.10п.л.).**
8. Профилометрическая система позиционирования сварочной установки / Тет Аунг [и др.], Интеллектуальные системы: Труды девятого международного симпозиума. –М.: РУСАКИ, 2010г, С. 659-662 (0,25п.л./0,046п.л.).
9. Реконструкция трёхмерных моделей по данным лазерной профилометрии / Тет Аунг [и др.]. Интеллектуальные системы: Труды десятого международного симпозиума. М.: РУСАКИ, 2012г. С. 513-517 (0,312п.л./0,062п.л.).
10. Сегментация изображений в задачах обнаружения дефектов поверхности / Тет Аунг [и др.]. Молодёжный научно-технический вестник (Москва) 2014г. http://sntbul.bmstu.ru/doc/749643.html. (Дата обращения 23.12.2014).