

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06101 – «Информационные системы (по отраслям)»
Емельяновой Марии Геннадьевны

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Актуальность исследования. Качество сварных соединений должно соответствовать определённым требованиям, от выполнения которых зависит пригодность металлических сварных труб к эксплуатации. При изготовлении гибких гофрированных труб из нержавеющей стали на производственной линии обязательным этапом является визуальный контроль качества сварных соединений, осуществляемый персоналом производства и позволяющий выявить поверхностные дефекты, возникающие при сваривании металла. На результат визуального контроля оказывает влияние человеческий фактор.

Целесообразно автоматизировать процесс визуального контроля качества сварных соединений на производстве, чтобы повысить достоверность его результата и, следовательно, снизить производственный брак.

Современные технические средства и технологии дают возможность автоматизации визуального контроля качества сварных соединений посредством применения машинного зрения: получения, обработки и анализа цифровых изображений.

Потребность исследований связана с необходимостью создания методов, алгоритмов, моделей для автоматического обнаружения и распознавания на изображениях поверхностных дефектов сварных соединений, выполненных сваркой вольфрамовым электродом в среде инертного газа (TIG). При этом необходимо учитывать оперативность обработки изображений, так как требуется анализ кадров видеопоследовательностей, получаемых с цифровой камеры в процессе изготовления сварных труб.

При разработке систем обработки и анализа изображений требуется изучение изображений, их особенностей; анализ применимости существующих методов для решения задачи; разработка новых методов, алгоритмов, моделей, учитывающих специфику предметной области; программная реализация предлагаемых алгоритмов; оценка результативности представленных решений.

Несмотря на то, что исследования в области распознавания образов начались ещё в 90-х годах, многие проблемы не решены в полной мере, кроме этого, появились новые производственные технологии и новые изделия, при распознавании поверхностных дефектов которых необходимо учитывать их особенности.

В теорию распознавания образов внесли вклад такие учёные как Л. Шапиро, Дж. Стокман, Р. Гонсалес, Р. Вудс, В.А. Сойфер, Д. Форсайт, Ж. Понс, Б. Яне, Е.Р. Девис, Р. Клетте, М. Никсон и др. Можно выделить исследования в области цифровой обработки видеоизображений, которыми занимались А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин.

В Казахстане также занимаются решением различных задач распознавания образов исследовательские группы институтов и университетов: Назарбаев Университета, Института информационных и вычислительных технологий, Казахского национального университета имени аль-Фараби, Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева и др. В зарубежных и казахстанских журналах опубликованы научные статьи таких учёных как М.Н. Калимолдаев, Е.Н. Амиргалиев, Б.С. Ахметов, Р.Р. Мусабаев, учёных Института умных систем и искусственного интеллекта Назарбаев Университета и др.

Авторы научных работ, связанных с распознаванием дефектов сварных соединений, исследуют дефекты, возникающие при использовании различных материалов и технологий сваривания металла. Необходимы исследования в рассматриваемой области при использовании сварки TIG. Для проведения исследований требуются изображения и видеопоследовательности с нормальными сварными соединениями, а также с различными дефектами, возникающими при сваривании металла. Необходимо получение таких изображений и видеопоследовательностей, так как нет комплексной подборки наборов данных. Кроме этого, некоторые авторы не заостряют внимание на решении задачи обнаружения дефектов, а решают задачу классификации, то есть определения типа дефекта на изображениях. Поэтому требуется решение задачи обнаружения и распознавания дефектов сварки TIG на поверхности трубы во время движения на производственной линии. Необходима адаптация существующих и разработка новых методов и алгоритмов, которые обеспечат оперативное обнаружение и распознавание дефектов сварных соединений в процессе производства.

Объектом исследования является процесс автоматического распознавания поверхностных дефектов сварных соединений гибких труб из нержавеющей стали.

Предметом исследования являются методы, модели, алгоритмы обработки и анализа изображений, которые могут применяться для обнаружения и классификации поверхностных дефектов сварных соединений.

Целью исследования является разработка методов, алгоритмов обработки изображений, построение моделей классификации, позволяющих распознавать поверхностные дефекты сварных соединений гибких труб из нержавеющей стали.

Задачи исследования:

- исследование существующих подходов, методов обнаружения и распознавания дефектов сварных соединений;
- разработка и программная реализация методов, алгоритмов обнаружения и локализации дефектов сварных соединений на изображениях для оперативного контроля качества сварки металла при изготовлении гибких труб из нержавеющей стали;
- поиск и реализация решения задачи классификации дефектов сварных соединений;
- проведение экспериментальных исследований, проверка работоспособности и оценка качества предлагаемых алгоритмов и моделей.

Методы исследования. Для исследований использовались методы обработки изображений, распознавания образов, математического и статистического анализа. Реализация алгоритмов выполнена на основе визуальной и объектно-ориентированной технологий программирования.

Научная новизна диссертационного исследования определяется тем, что предлагается совокупность методов, алгоритмов, моделей для обнаружения и распознавания поверхностных дефектов автоматической дуговой сварки вольфрамовым электродом в инертном газе при изготовлении гибких труб из нержавеющей стали на производственной линии.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- метод и алгоритм обнаружения поверхностных дефектов сварных соединений на изображениях на основе критерия однородности;
- алгоритм автоматического обнаружения поверхностных дефектов сварных соединений, основанный на моделировании и вычитании фона;
- модель классификации дефектов сварных соединений.

Практическая значимость заключается в возможности использования предлагаемых алгоритмов и моделей в автоматизированных системах визуального контроля качества сварных соединений на производствах гибких гофрированных труб из нержавеющей стали.

Апробация работы. Результаты исследований, представленных в диссертационной работе, обсуждались на следующих конференциях: VI ежегодная Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика», Алматы, Казахстан, 29 сентября - 02 октября 2021; Современные проблемы обратных задач. Новосибирск, Россия, 19-23 декабря 2022; Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education (CITech-2023), Усть-Каменогорск, Казахстан, 2-3 октября 2023.

Экспериментальные исследования проводились в производственном цехе по изготовлению гибких труб из нержавеющей стали ТОО «Dobren Group» г. Усть-Каменогорск, имеется справка.

На разработанную программную систему получено авторское свидетельство №45182 от 26 апреля 2024 г. «Программа для распознавания поверхностных дефектов сварных соединений».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ: 4 статьи в научных журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан; 2 публикаций в материалах конференций; 1 научная статья в журнале, входящем в базу данных Scopus (перцентиль 66).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка используемых источников, приложений. Общий объем диссертации составляет 109 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены объект, предмет, цель, задачи, методы исследования, научная новизна, представлены научные положения, выносимые на защиту, показана практическая значимость работы, приведены сведения об апробации работы и публикациях.

В первом разделе описан процесс производства гибких труб из нержавеющей стали, акцентировано внимание на этапе визуального контроля качества сварных соединений. Представлена функциональная модель производства и контроля качества гибких гофрированных труб из нержавеющей стали. Дано описание основных классов поверхностных дефектов сварки методом TIG. В соответствии с типовой информационной технологией обработки изображений для распознавания образов проведён обзор основных направлений исследований для автоматического обнаружения и классификации поверхностных дефектов сварных соединений. На основе проведённого анализа выделены методы для обнаружения и классификации, учитывающие специфику дефектов, возникающих при TIG-сварке.

Во втором разделе диссертации представлены алгоритмы автоматического обнаружения поверхностных дефектов сварных соединений, разработанные на базе обоснованно выбранных методов. Дано описание метода и получена модель критерия однородности на основе ридж-функции и интегральных проекций для обнаружения дефектов сварных соединений на изображении. Также предложен и описан алгоритм решения. В работе рассмотрены алгоритмы, основанные на сравнении гистограмм яркости, моделировании и вычитании фона. Для решения задачи классификации дефектов сварных соединений применены традиционные методы машинного обучения, требующие формирования набора данных, состоящего из множества векторов признаков. Описаны текстурные признаки, значения которых составляют набор данных. Определены параметры обучающих алгоритмов для построения классификаторов, а также проведена оценка качества полученных моделей.

В третьем разделе приводится описание программной системы, её структурной схемы, состоящей из функциональных подсистем. Программная система, позволяющая обнаруживать и классифицировать дефекты сварных соединений на кадрах видеопоследовательностей, разработана на базе предложенных в диссертации алгоритмов и моделей. Представлены

результаты экспериментальных исследований алгоритмов, подробное описание шагов которых дано во втором разделе.

В заключении диссертационной работы показаны основные результаты, сделаны выводы по диссертационным исследованиям, таким образом подтверждена научная новизна и практическая значимость исследования.

Автор выражает благодарность PhD, профессору ШЦТиИИ ВКТУ им. Д. Серикбаева Смаиловой С.С. и д.ф.-м.н., доценту Института вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) Казанцеву И.Г. за ценные советы, поддержку и интерес к диссертационной работе.