

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБОПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ

К. В. Лицин<sup>1,2</sup>, Д. В. Белых<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск, Россия),

<sup>2</sup> Новотроицкий филиал НИТУ «МИСИС» (г. Новотроицк, Россия)

Проведено исследование методов контроля сварных швов в трубной промышленности. Разработан алгоритм системы обработки координат и изображения профиля сварного шва, что позволит получить обработанные данные с выделенными и интересующими компонентами и выполнить необходимые вычисления или анализ требуемой информации о контролируемом объекте и качестве сварных швов. Осуществлен подбор оборудования для эффективной работы системы автоматизации контроля сварных швов. В программе TIA Portal реализована система визуализации технологического процесса работы в двух режимах: автоматическом и ручном. Разработанная система автоматизации позволит упростить процесс контроля сварных швов труб большого диаметра.

**Ключевые слова:** трубная промышленность, трубопрокатная продукция, сварной шов, методики контроля, автоматизация.

Важной подотраслью отечественной черной металлургии является трубная промышленность [1, 2]. Масштабы производства и спрос на трубопрокатную продукцию предполагают эффективную автоматизацию производственных процессов. Трубы большого диаметра (свыше 500 мм) производятся только методом сварки. В зависимости от диаметра трубы при их изготовлении используют сварку прямыми швами для малых диаметров и сварку спиральным швом или сварку отдельных листов для больших диаметров [3 – 5]. При изготовлении сварных швов неудаленные перед сваркой загрязнения будут влиять на сплошность соединения, что ухудшает качество соединения [6 – 9]. Такие дефекты сварки, как прожигание поверхности изделия, нарушение формы валика сварного шва, наличие подрезов – признаки того, что режим сварки был неоптимален и что целостность сварного шва может быть нарушена в процессе эксплуатации [10 – 13]. Поэтому проблема контроля качества сварки труб актуальна.

Существует несколько методик контроля сварных швов [6, 7, 10, 11]. Некоторые из них представлены на рис. 1.

Цель данной работы – разработка и исследование автоматизированной системы контроля сварного шва для повышения надежности и долговечности использования трубопрокатной продукции. Решались следующие задачи:

анализ обработки сварного шва с целью получения координат и профиля;

анализ и выбор средств автоматизации для реализации системы контроля сварного шва.

**Обработка сварного шва.** Система обработки, представленная на рис. 2, состоит из нескольких последовательно соединенных блоков, каждый из которых выполняет определенную функцию. Данный алгоритм необходим для получения координат и изображения профиля сварного шва. Назначение компонентов следующее:

1. Фильтр 1 амплитудной селекции. Данный фильтр используется для выделения сигналов с определенными амплитудными характеристиками. Он пропускает только сигналы, амплитуда которых находится в заданном диапазоне, и подавляет остальные. Он позволяет отделить интересующие сигналы от остального шума или нежелательных компонентов.

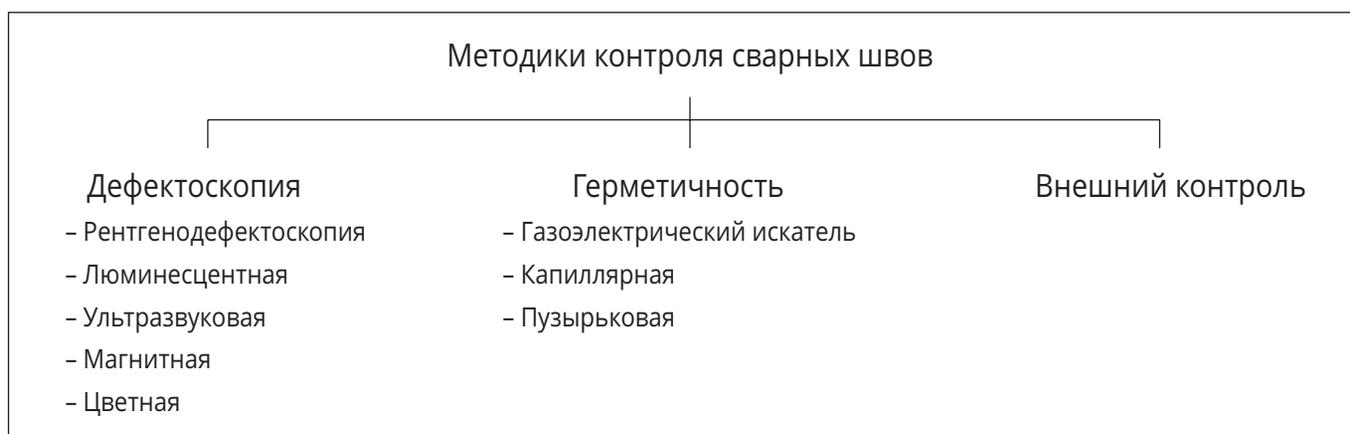


Рис. 1. Методики контроля сварных швов

Элементы комплекса системы

№	Элемент	Назначение
1	Оптический датчик (2 шт.)	Первый датчик сообщает о наличии трубы на роликах, второй о наличии установки УЗК на трубе
2	Система технического зрения	Внешний контроллер по обработке изображений с возможностью передачи данных другим устройствам
3	Программируемый логический контроллер	Выполнение заданного алгоритма контроля шва (рис. 2)
4	НМИ-панель	Панель оператора для управления объектом

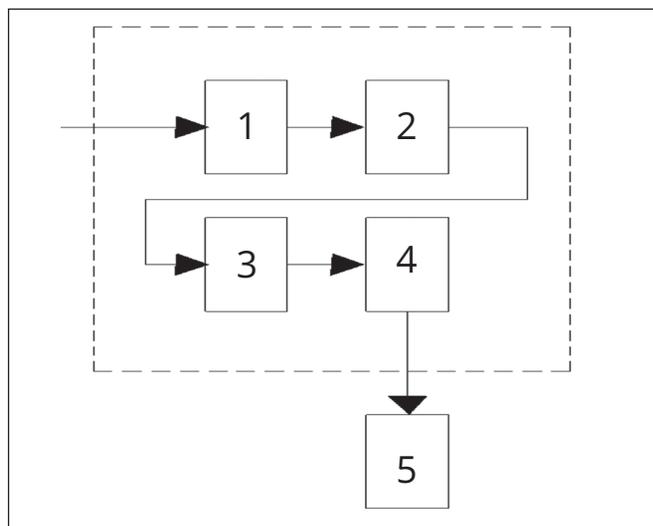


Рис. 2. Алгоритм обработки сварного шва

2. Фильтр 2 частотной селекции. Этот фильтр служит для выделения сигналов определенной частоты или частотного диапазона. Он подавляет сигналы на других частотах, что позволяет сосредоточиться на интересующих компонентах сигнала.

3. Блок 3 выделения фрагментов изображения. Данный блок отвечает за выделение нужных фрагментов из общего изображения. Он может выполнять ряд операций, таких как вырезание, масштабирование или преобразование изображения для получения требуемой области интереса.

4. Блок 4 вычисления координат изображения. Этот блок отвечает за вычисление координат изображения, т. е. определение положения и расположение объектов на изображении. Он может применять различные алгоритмы и методы обработки данных, чтобы определить точные координаты объектов.

5. Выход блока 4 вычисления координат изображения является выходом всего устройства, который в комплексе соединяется с первым входом вычислительного блока 5.

Все эти компоненты в системе обработки работают последовательно, принимая на вход данные от предыдущих блоков и обрабатывая их согласно заданным функциям. Это позволяет получить обработанные данные с выделенными и интересующими компонентами и выполнить необходимые вычисления или анализ для получения требуемой информа-

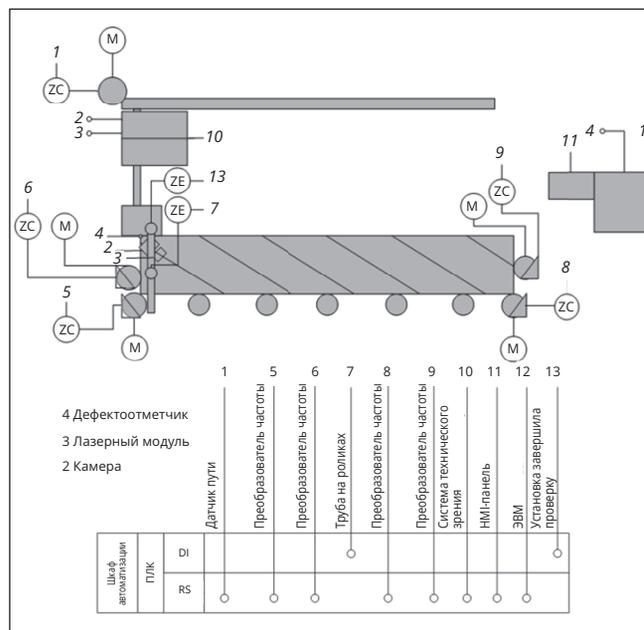


Рис. 3. Функциональная схема автоматизации контроля сварного шва

ции о контролируемом объекте и качестве сварных швов.

**Разработка автоматизированной системы контроля сварного шва.** При проектировании систем автоматизации технологических процессов все технические решения по автоматизации процесса отображаются на функциональной схеме автоматизации, представленной на рис. 3. Основные датчики и системы контроля представлены в таблице.

Система визуализации управления системой ультразвуковой диагностики сварных швов труб позволяет оператору АСУТП следить за контролем качества шва, работой исполнительных механизмов, скоростью движения платформы и роликов. Также с помощью НМИ-панели можно управлять системой в ручном режиме. В ручном режиме можно управлять двигателями роликов, задавать им скорость, включать дефектоскоп, управлять скоростью и направлением платформы, активировать работу камеры и лазера. На панели показаны привод тележки, привод роликов, оптические датчики положения, камера и лазер. На рис. 4 и 5 представлены режимы работы системы контроля: автоматический и ручной. Данная визуализация была выполнена в программе TIA Portal.

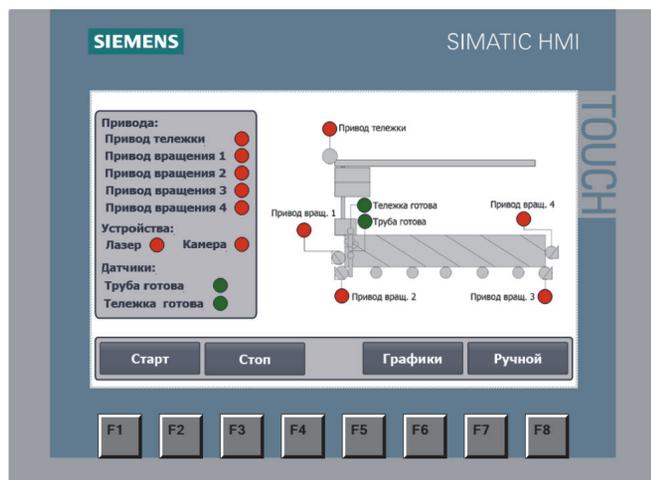


Рис. 4. Панель оператора для автоматического режима работы

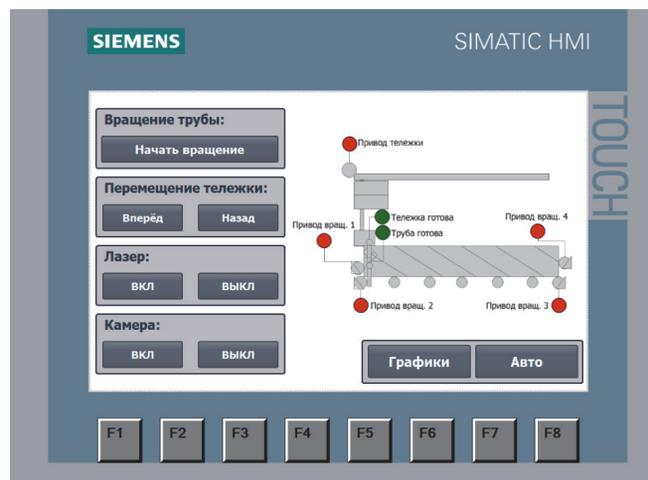


Рис. 5. Панель оператора для ручного режима работы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в статье автоматизированная система контроля сварных швов трубокатной продукции позволит исключить выпуск труб с дефектами благодаря эффективности и точности установки контроля, а также улучшить условия труда оператора системы. Для системы автоматизации были разработаны функциональная схема и алгоритм контроля сварного шва, а также архитектура подключения основного оборудования, где указана функциональная принадлежность каждого элемента управления. Разработан алгоритм работы системы автоматического управления и разработана программа работы системы и визуализация для автоматического и ручного режима работы системы. Капитальные затраты на внедрение проекта составят 1774250 руб. Экономия расходов на содержание и эксплуатацию системы в год составит 1263915,64 руб. Чистый дисконтированный доход ожидается в размере 1195951,75 руб., а индекс доходности – 1,58. Срок окупаемости автоматизированной системы составит порядка полутора лет.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tsukanov A.V., Litsin K.V. Development of an automated system for stack cutting machine of rolling production // Chernye Metally. 2023. № 1. P. 38 – 43.
2. Litsin K.V., Belykh D.V. Elaboration of the Load-Equalization System of the Electric Drive of the Main Hoist of a Bridge Crane // Steel in Translation. 2023. 53(2). P. 172 – 175.
3. Стрижакова Н.Е. Классификация методов и контроля процесса магнитно-импульсной сварки сопротивлением // Научный вестник ГАОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт». 2016. № 3. С. 55 – 59.
4. Королев С.А., Белозор В.Е., Кругляк Е.А. Современные методы испытаний на сопротивляемость образования горячих трещин применительно к высокопроизводительным методам сварки / Современные подходы и тенденции развития структурно-фазовых, химико-аналитических методов анализа: сб. докл. XV Всерос. конф. по испытаниям и исследованиям свойств материалов «Тест-Мат». 2023. С. 279 – 294.
5. Терентьев Е.В., Драгунов В.К., Слива А.П. и др. Аналитические методы расчета мощности электронного пучка при электронно-лучевой сварке с глубоким проплавлением // Сварка в России – 2019: современное состояние и перспективы: тезисы докл. Междунар. конф. к 100-летию со дня рождения Б. Е. Патона. – М.: Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2019. С. 263.
6. Недбай Е.В., Колганова Е.Н. Повышение эффективности средств контроля сварных швов на основе метода магнитного неразрушающего контроля // Актуальные проблемы инженерных наук: материалы VI ежегод. Науч.-практ. конф. преподавателей, студентов и молодых ученых Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». 2018. С. 472 – 474.
7. Антипов В.С., Васильев В.Д., Удралов Ю.И. Радиографический контроль сварных швов. Параметры контроля // Дефектоскопия. 2006. № 2. С. 46 – 52.
8. Пилогин С.О., Лунин В.П. Определение вероятности обнаружения дефектов в сварных швах при ультразвуковом контроле фазированной решеткой // Дефектоскопия. 2016. № 6. С. 35 – 41.
9. Тымкив Н.Н., Давыдов В.М. Магнитно-резонансные методы неразрушающего контроля сварных швов соединений резервуаров нефтепродуктов // Ученые заметки ТОГУ. 2020. № 11. С. 24 – 27.
10. Горшкова О.О. Инновации в сварочном производстве с учетом принципов индустрии 4.0 // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 3. С. 29 – 33.
11. Буторин Д.В., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г. Автоматизация процессов контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах // Информационные системы и технологии. 2017. № 1 (99). С. 44 – 53.
12. Калинин А.Г., Ильин С.А., Андреев В.А. и др. Контроль параметров и управление процессом сварки трением с перемешиванием // Автоматизация. Современные технологии. 2022. Т. 76. № 4. С. 158 – 161.
13. Litsin K.V., Belykh D.V. Development of Visualization System for Oxygen Supply Machine // Steel in Translation. 2022. № 52 (10). P. 956 – 960.
14. Singh M.K., Rao V.S., Mahto M., Jain P.K. Axially Partitioned Dual Band Magnetically Insulated Line Oscillator // IEEE Transactions on Plasma Science. 2022. No. 5. Vol. 50. P. 1198 – 1205.
15. Litsin K.V., Baskov S.N., Morkovnik D.A. A model of automated mold flux feeding into the crystallizer of a continuous casting machine // CIS Iron and Steel Review. 2023. 26. P. 33 – 38.

Статья поступила 09.02.2024