

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Долгих Ивана Юрьевича  
на диссертационную работу Родионова Дмитрия Викторовича на тему  
«Совершенствование средств автоматизации технологической подготовки  
управляющих программ комплекса лазерной сварки при единичном  
и мелкосерийном производстве»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами (промышленность)

### **Актуальность темы**

В настоящее время прогрессивным методом получения неразъёмных соединений конструкций из металла является лазерная сварка, многочисленные преимущества которой обеспечивают её широкое применение в машиностроительной отрасли. Однако использование современных роботизированных комплексов лазерной сварки связано с большой длительностью отдельных этапов технологической подготовки, что ограничивает внедрение лазерных технологий в единичное и мелкосерийное производство. Так, например, разработка управляющих программ известными методами связана с необходимостью производственных остановок в работе промышленного комплекса или введением дополнительных технологических операций, таких как калибровка положения модели детали и отладка управляющей программы робота на реальной детали, что требует постоянного взаимодействия участков рабочего места оператора и лазерного роботизированного комплекса сварки. Это приводит к приостановке производственного использования комплекса и отрицательно сказывается на себестоимости выпускаемой продукции. Существующие методы автоматизации калибровки положения модели детали и отладки управляющей программы робота, позволяют сократить время технологической подготовки, но не решают проблему в полной мере. Таким образом, представленная диссертационная работа, направленная на развитие методов, моделей и алгоритмов автоматизации технологической подготовки управляющих программ, ориентированных на единичное и мелкосерийное сварочное производство, выполнена на актуальную тему.

### **Структура, объём и содержание диссертационной работы**

Текст диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, состоящего из 120 наименований, и трёх приложений, включающих в себя акты об использовании результатов диссертационной работы, выписку из операционных карт серийно изготавливаемых изделий, акт входного контроля, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, патент на полезную модель и уведомления о приеме и регистрации заявок патентов на изобретение. Общий объём работы составляет 163 страницы машинописного текста, содержащего 87 иллюстраций и 21 таблицу.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и степень её разработанности, представлены цель работы, задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробации результатов.

Первая глава диссертации посвящена анализу современного состояния методов и средств подготовки управляющих программ оборудования, предназначенного для технологического процесса лазерной сварки. Рассмотрены методы автоматизации калибровки положения модели детали и отладки управляющих программ робота, а также автоматизированные системы, реализующие современные методы технологической подготовки управляющих программ для промышленного лазерного роботизированного комплекса сварки. Справедливо отмечена целесообразность замены операций калибровки положения модели и отладки управляющей программы робота автоматизированными операциями трансляции и корректировки траектории движения инструмента.

Во второй главе представлено описание разработанной методики автоматизации подготовки управляющих программ, основанной на включении двух автоматизированных операций взамен двух существующих. Для реализации автоматизированных операций и создания управляющих программ предлагается использование проектного решения, содержащего необходимые технологические параметры режима лазерной сварки. Представлен выбор средств автоматизации, подразумевающий использование датчика глубины и видеокамеры, встраиваемой в лазерную головку. Предложены алгоритмы создания управляющих программ промышленного комплекса лазерной сварки, использующие в качестве первоосновы проектное решение и результат выполнения автоматизированных операций.

Третья глава диссертации содержит описание разработанного метода автоматизации трансляции траектории движения инструмента из пространства моделей в пространство роботизированного манипулятора. Метод базируется на использовании данных датчика глубины, размещаемого непосредственно на лазерной головке. Полученные данные применяются для сопоставления и выравнивания положения детали, расположенной в рабочем пространстве лазерного роботизированного комплекса сварки, с трёхмерной моделью. В главе также представлены модели и алгоритмы по корректировке транслированной траектории в точках сварки относительно зазора. Автоматизация корректировки осуществляется путём применения усовершенствованных моделей сегментации и распознавания свариваемых кромок на изображении, получаемого с видеокамеры, встроенной непосредственно в лазерную головку. Результат распознавания используется расчётной моделью в качестве первоисточника для определения корректного положения пятна лазерного излучения.

Четвёртая глава посвящена созданию подсистемы автоматизированной системы технологической подготовки производства, реализующей теорети-

ческие разработки. Представлены программа, методика и результаты экспериментальных исследований подсистемы, выполненных на базе Научно-образовательного центра внедрения лазерных технологий Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Результаты исследований показали эффективность предложенных технических решений.

### **Новизна проведённых исследований и полученных результатов**

Основным научным результатом, полученным автором в рамках проведённых исследований, является разработанная методика технологической подготовки управляющих программ для лазерного роботизированного комплекса сварки. Её новизна заключается в замене операции калибровки положения модели автоматизированной трансляцией траектории движения инструмента средствами датчика глубины, путём определения области локализации свариваемой детали, расчёта траектории инструмента сканированием по области локализации и сопоставления положения результата сканирования свариваемой детали с её моделью. В то же время в работе модифицированы модели и алгоритмы корректировки транслированной траектории, обеспечивающие расчёт положения фокальной плоскости лазерной головки, распознавание свариваемых кромок и формализацию сегментации области между ними. Также разработана структура подсистемы по подготовке управляющих программ для автоматизированной системы технологической подготовки производства на базе модулей автоматизированной трансляции, корректировки траектории движения инструмента и генерации управляющих программ робота и лазера. Научная новизна предложенных технических решений подтверждается свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ и патентом на полезную модель.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений**

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов подтверждается применением сертифицированных информационно-вычислительных средств, а также корректных методов исследования в области автоматизации технологических процессов и производств, системного анализа и теории обработки информации, векторной геометрии, машинного зрения и объектно-ориентированного программирования. Достоверность результатов экспериментальных исследований разработанной автоматизированной системы подготовки управляющих программ подтверждается использованием аттестованного промышленного и испытательного оборудования.

### **Значимость полученных результатов для науки и практики**

Научная и практическая ценность диссертационной работы заключается в разработке новых и усовершенствовании существующих методов и средств автоматизации технологической подготовки управляющих программ для лазерного роботизированного комплекса сварки. Включение в производственный процесс автоматизированных операций трансляции траектории

движения инструмента на основе разработанного метода и корректировки точек транслированной траектории с использованием модифицированных моделей и алгоритмов обеспечивают значительное сокращение времени выполнения калибровки положения модели и отладки управляющих программ. В то же время применение разработанной подсистемы обеспечивает сокращение общего времени технологической подготовки, что оказывается существенным для единичного и мелкосерийного производства. Значимость результатов подтверждается актами об их использовании на производственном предприятии «Инжиниринговый центр при ВлГУ» и в учебном процессе направлений бакалавриата и магистратуры в дисциплинах «Проектирование автоматизированных систем» и «Автоматизация технологических процессов, манипуляционные, робототехнические системы».

### **Замечания по диссертационной работе**

По содержанию диссертационной работы можно сделать следующие замечания.

1. В структурных схемах проектного решения лазерной сварки неявно указана величина используемого диаметра пятна лазерного излучения. В работе это значение некорректно представлено величиной расфокусировки лазерного излучения.

2. В диссертационной работе не указаны инструкции по функционированию разработанной подсистемы технологической подготовки управляющих программ в случае некорректного получения исходных данных об объекте трехмерного сканирования или неверной сборки детали.

3. В работе не приведена оценка сокращения общего времени функционирования промышленного комплекса при производстве одной детали с использованием разработанных средств автоматизации.

4. В тексте диссертации присутствуют стилистические ошибки и опечатки, которые, однако, не влияют на понимание сути работы.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

В целом диссертация Родионова Дмитрия Викторовича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и содержащей решение важных задач в области разработки и модификации методов, моделей и алгоритмов автоматизации технологической подготовки управляющих программ промышленного лазерного роботизированного комплекса сварки при единичном и мелкосерийном производстве. Диссертационная работа написана на высоком научно-теоретическом и техническом уровне, обладает научной новизной и практической значимостью. Полученные результаты и сделанные выводы соответствуют поставленным целям и задачам. Автореферат полностью отражает основное содержание и положения диссертации. Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

При выполнении диссертационного исследования опубликовано 10 научных трудов, в том числе 3 в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендо-

дованных ВАК РФ, и 6 в международных научных изданиях, индексируемых Scopus, и получено 6 Свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и 1 Патент на полезную модель. Результаты работы апробированы участием в 5 международных, российских и региональных научно-теоретических и научно-прикладных конференциях.

По совокупности перечисленных в отзыве признаков диссертационная работа «Совершенствование средств автоматизации технологической подготовки управляющих программ комплекса лазерной сварки при единичном и мелкосерийном производстве» удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. в редакции от 20.03.2021 г. № 426, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Родионов Дмитрий Викторович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Теоретические основы электротехники и электротехнологии»

>

Долгих Иван Юрьевич

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ),  
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34  
Email: [ivan.dolgikh.89@mail.ru](mailto:ivan.dolgikh.89@mail.ru)  
Телефон: 89066179637

Подпись канд. т.  
Долгих И.Ю. заве  
Учёный секретарь

 Ширяева Ольга Алексеевна

15.00