

«УТВЕРЖДАЮ»

Член АПУ ДВО РАН

Президент РАН

 Р.В. Ромашко

25 января 2022 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук»  
(ИАПУ ДВО РАН)

на диссертационную работу Родионова Дмитрия Викторовича

по теме «Совершенствование средств автоматизации технологической подготовки управляющих программ комплекса лазерной сварки при единичном и мелкосерийном производстве», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»

### Актуальность работы

Современные высокотехнологичные комплексы лазерной сварки позволяют значительно расширить конструкторско-технологические решения машиностроительного производства, обеспечивая достижение ряда значительных преимуществ формирования сварного соединения и оперативности исполнения процесса. Однако развитие лазерной сварки в условиях единичного и мелкосерийного производства затрудняется необходимостью выполнения продолжительных по времени операций технологической подготовки промышленного комплекса, реализующего технологический процесс.

К таким операциям относится подготовка управляющих программ (УП) промышленного комплекса лазерной сварки в условиях широкой номенклатуры выпускаемых изделий единичного и мелкосерийного производства. Сокращение времени на подготовку УП возможно достичь исключительно за счет средств автоматизации, составляющих информационное, математическое и техническое обеспечение.

Совершенствование средств автоматизации технологической подготовки УП комплекса лазерной сварки является важной и актуальной научно-технической задачей современного единичного и мелкосерийного машиностроительного производства.

### Структура и содержание диссертационного исследования

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 120 наименований. Работа изложена на 163 страницах, содержит 87 рисунков, 21 таблицу и 3 приложения.

В первой главе проведен анализ современного состояния методов и средств автоматизации подготовки УП и автоматизированных систем технологической подготовки производства для комплекса лазерной сварки. Выявлены недостатки технологической подготовки УП существующими решениями. Проанализированы методы автоматизации трансляции траектории движения инструмента из пространства моделей в рабочее пространство промышленного комплекса и её корректировки относительно свариваемых кромок. Рассмотрены средства программной реализации теоретических разработок автоматизации технологической подготовки УП. Сформулированы цели и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке методики автоматизированной технологической подготовки УП комплекса лазерной сварки и ее средствам реализации. Представлены схема методики и структура проектного решения лазерной сварки. Методика предлагает использование проектного решения в качестве связующего звена между системой проектирования технологического процесса и промышленным комплексом. Раскрыты этапы методики технологической подготовки УП, включающие автоматизированные операции трансляции технологической траектории из пространства моделей в рабочее пространство промышленного комплекса путем сопоставления результата трехмерного сканирования детали и её модели, а также корректировки положения инструмента в транслированных точках траектории за счёт распознавания свариваемых кромок на видеоизображении.

Третья глава посвящена разработке теоретических аспектов автоматизации трансляции технологической траектории в рабочее пространство комплекса лазерной сварки, используя датчик глубины и корректировки точек транслированной траектории относительно свариваемых кромок по результату распознавания на изображении, получаемого с видеокамеры, встраиваемой в лазерную головку. Приведен метод трансляции технологической траектории, подразумевающий трехмерное сканирование свариваемой детали и сопоставление результата сканирования с трехмерной моделью. Формализованы алгоритмы и модели сегментации и распознавания свариваемых кромок на изображении. Предложены модели определения корректного положения инструмента относительно результата распознавания.

В четвертой главе приведена подсистема технологической подготовки УП робота и лазера автоматизированной системы технологической подготовки производства, реализующая разработанные метод, алгоритмы и модели, программная реализация которых получила свидетельства о регистрации программ ЭВМ. Представлена методика экспериментального исследования разработанной подсистемы. Приведены результаты экспериментального исследования подсистемы технологической подготовки УП для трех различных деталей. На основании полученных результатов была осуществлена оценка сокращения времени технологической подготовки УП комплекса лазерной сварки.

Диссертация заканчивается общими выводами, которые не противоречат результатам, полученными ранее другими исследователями по данной тематике.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке методики технологической подготовки УП, использующей проектное решение ЛС в качестве связующего звена рабочего места технолога и промышленного комплекса, включающей автоматизированные операции трансляции технологической траектории из пространства моделей в рабочее пространство комплекса средствами датчика глубины и корректировки положения инструмента в транслированных точках траектории средствами распознавания свариваемых кромок на видеоизображении. Разработан метод автоматизированной трансляции технологической траектории средствами датчика глубины, размещенного на инструменте комплекса, отличительными особенностями которого являются определение области локализации свариваемой детали, формализация подготовки траектории инструмента сканирования, сопоставление результата трехмерного сканирования свариваемой детали с её моделью. Усовершенствованы алгоритмы и модели корректировки точек транслированной траектории инструмента относительно свариваемых кромок, распознаваемых на видеоизображении, отличающихся: корректировкой положения фокальной плоскости лазерного излучения по результату фокусировки видеокамеры, размещенной в лазерной головке, формализацией признаков сегментации области между свариваемыми кромками, распознаванию кромок, как непрерывных, локально-параллельных линий и определению корректного положения. Разработана структура подсистемы технологической подготовки УП в общей схеме АС ТПП промышленного комплекса лазерной сварки,

отличительными особенностями которой является включение модулей автоматизированной трансляции, корректировки траектории движения инструмента и генерации УП робота и лазера.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы**

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по темам:

- «Теоретические и экспериментальные исследования комплексной технологии волоконной лазерной сварки листовых деталей из цветного и черного металлопроката для транспортных средств нового поколения» (Соглашение от 28.11.2014г. №14.577.21.0158);
- «Разработка технологии получения износо- и коррозионностойких уплотнительных поверхностей высокой твердости для атомных энергетических установок методом лазерной порошковой наплавки» (Договор от 03.12.2019г. № 075-15-2019-1833; Уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI60419X0245)

и государственного задания ВлГУ «Новые физические методы лазерного синтеза микро- и наноструктурированных углеродосодержащих материалов: экспериментальное и теоретическое изучение процессов их формирования и распознавания наноструктур» (№3.5531.2017/БЧ).

Разработанные математические и информационно-технологические модели и алгоритмы составили теоретическую основу, обеспечившую создание подсистемы АС ТПП по подготовке УП промышленного ЛРК-С. Теоретические результаты диссертационной работы использованы в образовательной деятельности Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых.

Результаты работы получили внедрение на производственном предприятии ООО «ИЦ при ВлГУ» в г. Владимире. Соответствие изделий, произведенных средствами разработанной подсистемы АС ТПП по подготовке УП конструкторской документации подтверждено при входном контроле на АО «Ковровский электромеханический завод» в г. Коврове.

**Степень достоверности и апробация результатов работы** подтверждена применением апробированных методов исследования, наличием публикаций в рецензируемых научных изданиях и докладов на конференциях, соответствующих тематике диссертационного исследования. Научно-техническая новизна результатов исследования подтверждена патентом на полезную модель и заявками патентов на изобретение, а также свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XII международной научной конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ-2017» (5-7 июля 2017 г., г. Суздаль), на IX международная конференция «Лучевых технологий и применение лазеров» (17-19 сентября 2018 г., г. Санкт-Петербург), на научно-практической конференции «Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (18 марта – 5 апреля 2019 г., г. Владимир), на международной мультидисциплинарной конференции по промышленному инжинирингу и современным технологиям «FarEastCon 2019» (1-4 октября 2019 г., г. Владивосток), на международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг-2020» (25-29 марта 2020 г., г. Сочи).

### **Замечания**

1. Алгоритм сопоставления результата сканирования с моделью не содержит инструкций для случая некорректной сборки детали подлежащей сварке.
2. В экспериментальном исследовании не содержится обоснований выбора технических средств автоматизации, составляющих испытательное оборудование.

3. В тексте диссертации не представлены допуски на сопоставления результата трехмерного сканирования детали с моделью.

4. В работе неявно указаны действия оператора промышленного комплекса лазерной сварки при сопоставлении результата сканирования с моделью детали, выполняемые вручную и свидетельствующие о том, что указанная операция является автоматизированной.

#### Соответствие диссертации по паспорту специальности

Диссертационная работа Родионова Дмитрия Викторовича «Совершенствование средств автоматизации технологической подготовки управляющих программ комплекса лазерной сварки при единичном и мелкосерийном производстве» соответствует специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность). Выполненные исследования соответствуют следующим пунктам паспорта специальности:

- п.3 Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АС ТПП) и т.д.;
- п.5 Теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУ ТП, АСУП, АС ТПП и др.

#### Заключение

Диссертационная работа Родионова Дмитрия Викторовича является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует требованиям пунктов 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 20.03.2021г., утв. пр.№ 426, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Диссертационная работа и отзыв на нее обсуждены на заседании Сектора лазерных технологий ФГБУН Института автоматики и процессов управления ДВО РАН 25 января 2022 года, протокол №1.

Отзыв ведущей организации ИАПУ ДВО РАН по диссертации Родионова Дмитрия Викторовича на тему «Совершенствование средств автоматизации технологической подготовки управляющих программ комплекса лазерной сварки при единичном и мелкосерийном производстве» одобрен на заседании Ученого совета 25 января 2022 года, протокол №1.

Руководитель Сектора лазерных технологий, к.ф.-м.н.

Подпись Субботина Е.П. заверг  
Заместитель директора по  
научно-образовательной  
деятельности, Ученый секре  
Института автоматики и прог  
управления ДВО РАН, к.т.н., дс

— Е.П. Субботин

(Евгений Петрович)

С.Б. Змеу

Контактные данные:

ФГБУН Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН  
Адрес: 690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, д. 5.  
Email: director@iacp.dvo.ru Тел. +7(423)231-04-39

25.01.2022г.