

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.410.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 июня 2025 г. № 37

О присуждении Какорину Даниилу Дмитриевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему «Автоматизация технологического процесса аддитивного производства металлических изделий послойной электродуговой наплавкой» по специальности 2.3.3. – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки) принята к защите 11 апреля 2025 г., протокол заседания № 33, диссертационным советом 24.2.410.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, приказ № 376/нк от 27.04.2017 о создании диссертационного совета, приказ № 94/нк от 26.01.2023 о внесении изменений в состав диссертационного совета.

Соискатель Какорин Даниил Дмитриевич, 08 ноября 1998 года рождения, в 2020 году с отличием окончил обучение в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тверской государственный технический университет» по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» с присвоением квалификации бакалавр. В 2022 году с отличием завершил обучение в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования

«Тверской государственной технической университет» по направлению подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологические обеспечение машиностроительных производств» с присвоением квалификации магистр.

С 2022 года по настоящее время обучается в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной технической университет» по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» по научной специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

На сегодняшний день Какорин Д.Д. завершает обучение по программе подготовки кадров высшей квалификации в аспирантуре, работает в должности ассистента кафедры «Технология металлов и материаловедение», а также, по внутреннему совместительству, занимает должность ведущего инженера отдела организации научных исследований и проектов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной технической университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Автоматизация технологических процессов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной технической университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Марголис Борис Иосифович, заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной технической университет».

Официальные оппоненты:

Хаймович Александр Исаакович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии производства двигателей» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева», г. Самара;

Коваленко Артем Валерьевич, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научно-исследовательской деятельности, акционерное общество «Национальный институт авиационных технологий» (АО НИАТ), г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Компьютерные системы автоматизации производства» Гаврюшиным Сергеем Сергеевичем и кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» Королевой Марией Николаевной, и утвержденном доктором экономических наук, профессором, проректором по науке и цифровому развитию Дрогвозом Павлом Анатольевичем, указала, что диссертационная работа Какорина Д.Д. выполнена на высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложено новое решение актуальной для автоматизированного производства задачи – обеспечения качества изделий машиностроения на стадии автоматизированного проектирования эффективных и производительных автоматизированных операций производства заготовок деталей аддитивной электродуговой наплавкой. Диссертационная работа по актуальности, научной новизне и практической значимости полностью отвечает требованиям п.п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (ред. от 16.10.2024 г.), а её автор, Какорин Д.Д., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, из них 4 научные статьи, опубликованные в изданиях перечня ВАК (категория К1 – 1 статья, К2 – 3 статьи), 1 публикация в изданиях из перечня ВАК по смежным специальностям, в изданиях, входящих в РИНЦ – 5 работ, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ – 1, патент на изобретение – 4. В опубликованных работах рассмотрены: процесс аддитивного производства металлических изделий с точки зрения автоматизации; описан механизм подбора режима послойного электродугового наплавления, обеспечивающего требуемое качество геометрической формы и структуры наплавленного металла; описан процесс программной оптимизации температурно-временного режима аддитивного производства с учетом идентификации параметров теплообмена; описана математическая модель температурного поля в процессе послойного электродугового наплавления; представлена программа для расчета температур в наплавленном изделии и подбора оптимальных параметров режима.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Какорин, Д.Д. Способ аддитивного производства металлических изделий / Д.Д. Какорин, А.Ю. Лаврентьев, Б.И. Марголис // Интеллектуальные системы в производстве. – 2023. – Т.21. – №4. – С. 75-80. (Соискатель – 80%).

2. Какорин, Д.Д. Оптимизация режимов послойного наплавления для аддитивного производства металлических изделий / Д.Д. Какорин, Б.И. Марголис, А.Ю. Лаврентьев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – №4. – С. 550-554. (Соискатель – 75%).

3. Какорин, Д.Д. Программная оптимизация температурно-временного режима аддитивного производства металлических изделий / Д.Д. Какорин, Б.И. Марголис, А.Ю. Лаврентьев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – №10. – С. 426-430. (Соискатель – 70%).

4. Какорин, Д.Д. Моделирование температурных полей при аддитивном производстве металлических изделий / Д.Д. Какорин, Б.И. Марголис // Программные продукты и системы. – 2025. – Т. 38. – №1. – С. 561-566. (Соискатель–65%).

5. Программа для моделирования температурного поля при аддитивном производстве металлических изделий / Б.И. Марголис, Д.Д. Какорин, зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 29.05.2024, №2024662504. (Соискатель – 60%).

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Отзыв Грибкова Алексея Николаевича, д.т.н., доцента, заведующего кафедрой «Энергообеспечение предприятий и теплотехника» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов).

Замечания:

1) При расчете температурного поля учитываются только две пространственные координаты, что требует применения дополнительной корректировки весовых коэффициентов теплопроводности;

2) В автореферате недостаточно подробно показаны результаты расчета показателей эффективности программной оптимизации температурно-временного режима аддитивного производства, в частности, из данных, приведенных в таблице 2, неясно, каким образом сокращаются затраты на оплату труда работников на 71,4%.

2. Отзыв Анисимова Анатолия Анатольевича, д.т.н., доцента, профессора кафедры «Электроника и микропроцессорные системы» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (г. Иваново).

Замечания:

1) В представленной работе не проводится исследование условий обеспечения устойчивости и приемлемого качества переходных процессов в замкнутой двухконтурной АСУ ТП аддитивного производства;

2) В автореферате не сказано о применяемых методах решения задачи оптимизации технологических параметров в контуре управления, не исследуется вопрос сходимости этих алгоритмов.

3. Отзыв Мартинова Георги Мартинова, д.т.н., профессора, заведующего кафедрой «Компьютерные системы управления» ФГАОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (г. Москва).

Замечания:

1) Из автореферата непонятно, как предложенная автором структура автоматизированной системы управления технологическим процессом аддитивного производства интегрируется с имеющимися на рынке систем управления установками 3D печати.

4. Отзыв Хисамутдинова Рауиля Миргалимовича, д.т.н., доцента, заведующего кафедрой «Технологии цифрового машиностроительного производства» Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (г. Набережные Челны).

Замечания:

1) Отсутствует пример расчета температурного поля и идентификации параметров теплообмена для различных марок сталей;

2) Недостаточно полно описан процесс радиационного переноса тепла при послойном электродуговом наплавлении и его вклад в общий теплообмен;

3) Отсутствует оценка быстродействия программы по сравнению с аналогичными продуктами.

5. Отзыв Забрускова Николая Юрьевича, к.т.н, технического директора ООО «ДКР» (г. Тверь).

Замечания:

1) В автореферате не в полном объеме отражены существующие методики моделирования процессов аддитивного производства;

2) Недостаточно раскрыт вопрос выбора критерия оптимизации и граничных значений температур.

6. Отзыв Янишевской Анны Генриховны, д.т.н., профессора, профессора кафедры «Инженерная геометрия и системы автоматизированного проектирования» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» (г. Омск).

Замечания:

1) Из текста автореферата, приведенного на стр. 8 не совсем ясно, в каких единицах можно выразить повышение эффективности процесса аддитивного производства металлических изделий с применением разработанной автоматизированной системы управления технологическим процессом и программы для моделирования температурного поля;

2) В автореферате не приведены требования к ЭВМ для использования написанной программы для моделирования и автоматизации процесса послойного наплавления, позволяющей рассчитывать температурное поле в наплавленном изделии с учетом всех указанных в работе параметров, и позволяющего повысить эффективность функционирования промышленного предприятия.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован следующим.

Хаймович Александр Исаакович, доктор технических наук, доцент, является известным ученым, выполняющим научные исследования в области повышения качества металлических изделий, полученных различными способами аддитивного производства, а также разработки теоретических основ проектирования операций постобработки деталей, изготовленных путем послойного добавления материала, имеет значительное количество публикаций в области, соответствующей тематике диссертации соискателя, что свидетельствует о его компетенции в задачах, которые

решает соискатель.

Коваленко Артем Валерьевич, кандидат технических наук, является квалифицированным специалистом в области управления различными источниками энергии в установках аддитивного производства, упрочнения и восстановления металлических деталей, в том числе с использованием технологий аддитивного производства. Автор публикаций по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ, заместитель генерального директора по научно-исследовательской деятельности Национального института авиационных технологий, обладает достаточным уровнем компетенций для оценки новизны и практической значимости результатов диссертационной работы соискателя.

Ведущая организация, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» – ведущий научно-исследовательский центр Российской Федерации, выполняющий широкий спектр научных исследований по различным направлениям, в том числе в области аддитивного производства и быстрого прототипирования, численного моделирования и автоматизации технологических процессов послойного построения изделий, разработки инновационных технологий аддитивного производства с использованием композиционных материалов, что соответствует тематики исследований диссертации соискателя.

Официальные оппоненты и ведущая организация дали свое согласие.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая концепция автоматизации технологического процесса аддитивного производства с применением роботизированного управления, базирующаяся на новых математических моделях температурного поля в наплавляемом изделии на основе явной конечно-разностной схемы, позволяющей определять изменение температуры металла в процессе послойного электродугового

наплавления, методике расчета оптимальной траектории и последовательности наплавления слоев металла при аддитивном производстве металлических изделий, алгоритмах и программных средствах, позволяющих автоматизировать расчет параметров проектных задач при выполнении указанного технологического процесса, обеспечивающего заданное качество изделий;

предложена структурная схема двухконтурной автоматизированной системы управления технологическим процессом послойного наплавления с применением роботизированных установок на основе автоматизации управления параметрами установки и подбора эффективной траектории и последовательности наплавления слоев по всем элементам конструкции;

доказано наличие взаимосвязей между конструктивными параметрами изделия, теплофизическими характеристиками материала, температурой наплавляемого слоя, геометрией детали и параметрами технологического процесса автоматизированного наплавления с применением роботизированных установок;

введено новое понятие – траектория наплавления, определяющее последовательность наложения слоев металла по всем элементам детали.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана применимость предложенных решений по автоматизации технологического процесса послойного электродугового наплавления с использованием роботизированных установок на основе двухконтурной системы управления, обеспечивающей требуемые параметры точности и качества детали.

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих научной новизной результатов):

использованы теория математической статистики, теория тепловых процессов, методы компьютерного моделирования, теория инженерного эксперимента, теория автоматизации технологических процессов, средства автоматизации инженерного труда, методы разработки программного обеспечения, численной оптимизации;

изложены особенности идентификации параметров теплообмена, позволяющие

достигнуть хорошего соответствия моделируемых и реальных значений температур и требуемого качества наплавленного металла;

раскрыты взаимосвязи и технологические (практические и теоретические) факторы, обеспечивающие описание и формализацию математических моделей, лежащих в основе автоматизированной системы управления технологическим процессом послойного наплавления;

изучены проблемы, возникающие при автоматизации технологической подготовки и операций автоматизированного управления процессом аддитивного производства;

проведена модернизация математических моделей температурного поля с учетом зависимости теплофизических свойств металла от его температуры и послойного добавления новых частей конструкции в процессе послойного наплавления детали.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены (прошли практическую апробацию) двухконтурная автоматизированная система управления технологическим процессом аддитивного производства и программа для моделирования и оптимизации температурно-временного режима послойного наплавления на предприятии АО «Завидовский экспериментально-механический завод», пгт. Новозавидовский, Тверская область; разработанные экспериментальная установка, система управления и программа расчета эффективного режима наплавления **применяются** в лаборатории кафедры «Технология металлов и материаловедения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной технической университет» при изготовлении опытных образцов, единичных изделий и прототипов при выполнении НИОКР по различным направлениям; научные и практические результаты работы **используются** при проведении учебных занятий по дисциплинам «Технология

конструкционных материалов», «Материаловедение», «Теория сварочных процессов» и «Оборудование сварочного производства» для студентов различных направлений и специальностей в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тверской государственный технический университет»;

определены область и перспективы практического использования предлагаемых методик – при автоматизации технологических процессов послойного электродугового наплавления металлических изделий и восстановлении изношенных поверхностей с применением роботизированного оборудования и установок с ЧПУ в различных областях машиностроения;

созданы прототип промышленной установки для автоматизированного наплавления металлических изделий и даны практические рекомендации, обеспечивающие повышение эффективности процесса послойного наплавления;

представлены методические рекомендации по интеграции разработанных моделей и программных средств с системой управления роботизированных установок.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты экспериментальных работ получены на сертифицированном оборудовании, компьютерное моделирование выполнено с применением лицензионных программных средств;

теория построена на комплексном анализе, структуризации и формализации процессов автоматизированного управления технологическим процессом аддитивного производства;

идея работы базируется на анализе и обобщении практики и научных знаний при реализации подходов к разработке систем автоматизированного управления технологическими процессами;

использовано сравнение способов, методов и методик в области представления моделей температурного поля в процессе послойного наплавления с целью

формализации полученных в работе информационных связей;

установлено качественное соответствие полученных автором результатов с данными, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные источники сбора и обработки исходной информации с обоснованием выбора элементов для разработки и уточнения моделей, методов автоматизации управления технологическим процессом послойного наплавления.

Личный вклад соискателя состоит в формировании цели и задач исследования; выборе и обосновании методов исследования; описании технологического процесса аддитивного производства как объекта управления; разработке модели тепловых процессов; апробации программного обеспечения; разработке двухконтурной автоматизированной системы управления и методики определения эффективного режима аддитивного производства; создании экспериментальной установки; отработке технологических режимов; изготовлении и исследовании экспериментальных образцов; проведении опытно-промышленных испытаний. Личный вклад соискателя также состоит в подготовке научных публикаций, регистрации программы, подаче заявок на изобретение, формулировании выводов по результатам исследования.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания: д.т.н., проф. Горячев В.Д. отметил, что из доклада не ясно, почему в работе используется уравнение теплопроводности, а не уравнение Пуассона; д.т.н., проф. Матвеев Ю.Н. отметил, что в работе отсутствует обоснование отказа от использования оценки отклонений с помощью квадратичной формы.

Соискатель Какорин Д.Д. ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с некоторыми замечаниями.

На заседании 24 июня 2025 г. диссертационный совет принял решение за научно-обоснованные технические, технологические и иные решения и разработки, направленные на повышение эффективности технологической подготовки и

автоматизации процессов аддитивного производства на основе математического описания протекания технологического процесса, методик и алгоритмов подбора оптимальных параметров технологического процесса, разработки системы автоматизированного управления, имеющие существенное значение для развития машиностроительной отрасли страны, присудить Какорину Даниилу Дмитриевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.3.3 -- Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет 24.2.410.01 в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности 2.3.3, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

«за» присуждение учёной степени кандидата наук - 15, «против» присуждения учёной степени - 1, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного
совета 24.2.410.01 д.т.н., проф.

Палюх Борис Васильевич

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.2.410.01 д.ф.-м.н., проф.



Дзюба Сергей Михайлович

24 июня 2025 года