

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.217.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от _____ г. № _____

О присуждении Попову Антону Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Оптимальное проектирование и управление режимами индукционного нагрева в процессе поверхностной закалки» по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы) принята к защите 22 октября 2020 г., протокол № 5, диссертационным советом Д 212.217.07, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, приказом Минобрнауки РФ №1119/нк от 16 ноября 2017 г.

Соискатель Попов Антон Валерьевич, 1993 года рождения, в 2015 году окончил магистратуру по направлению «Управление в технических системах» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет», в 2020 году - аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет», работает старшим преподавателем на кафедре «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Плешивцева Юлия Эдгаровна, профессор кафедры «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки РФ.

Официальные оппоненты:

Казаринов Лев Сергеевич, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (г. Челябинск), заведующий кафедрой «Автоматика и управление»

Душин Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)» (г. Санкт-Петербург), профессор кафедры «Автоматика и процессы управления»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «НГТУ»), г. Новосибирск в своем положительном заключении, подписанном Французовой Галиной Александровной, д.т.н., доцентом, профессором кафедры «Автоматика» и Жмудем Вадимом Аркадьевичем д.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Автоматика», и утвержденном Бровановым Сергеем Викторовичем, д.т.н., доцентом, проректором по научной работе, указала, что диссертация представляет собой самостоятельную, завершённую научно-квалификационную работу, обладающую признаками новизны, актуальности и практической значимости.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ (4 в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science, 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ). Опубликованные работы содержат сформулированные соискателем постановки и разработанные методики решения задач проектирования и управления режимами индукционного нагрева в процессе поверхностной индукционной закалки стальных цилиндрических заготовок. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Суммарный объем публикаций с участием соискателя составляет 7.07 печатных листа, объем работ, написанных единолично, составляет – 2.59 печатных листа.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Yu. Pleshivtseva, G. Rogachev, A. Popov MATLAB-FLUX Coupling for numerical modeling in education // SHS Web of Conferences 29, 02033 (2016).
2. Yu. Pleshivtseva, M. Forzan, E. Sieni, A. Popov Multi-Objective Optimization of Induction Surface Hardening Process // Proceedings of the 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'18). 2018. - pp. 3515-3520.
3. A. Popov Optimization of Heating Stage for Induction Hardening of Cylindrical Billets // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). – Samara, Russia. 2019. - pp. 237-241.
4. Yu. Pleshivtseva, M. Baldan, E. Rapoport, A. Nikanorov, B. Nacke, A. Popov Effective methods for optimal design of induction coils on example of surface hardening // Compel – The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering. – W. Yorkshire: Emerald group, 2020, Vol. 39 No. 1. pp. 90-99.
5. Попов А.В., Дьяконов А.И. Оптимальное по быстродействию управление процессом периодического индукционного нагрева с учетом ограничения на максимальную температуру // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки: Научный журнал. - Самара: СамГТУ, 2015, №3(47). - С 56-68.
6. Плешивцева Ю.Э., Дервянов М.Ю., Попов А.В., Попова М.А. Оптимальное

проектирование индуктора для поверхностной закалки цилиндрических заготовок на основе численной двумерной модели // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика: Научный журнал. – Астрахань: ФГБОУ ВО «АГТУ», 2019, №1. – С.40-50.

7. Попов А.В. Оптимальное проектирование индукционного нагревателя для поверхностной закалки в условиях интервальной неопределенности параметров// Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки: Научный журнал. – Самара: СамГТУ, 2020. Т. 28, №3. – С.124-139.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

1. Отзыв ведущей организации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет». В отзыве приведены следующие замечания: в главе 1 следовало больше уделить внимания особенностям технологии поверхностной индукционной закалки цилиндрических заготовок, изготовленных из конструкционной стали С40, исследуемой в диссертационной работе; следовало более аргументировано пояснить, почему при постановке задачи оптимального по быстродействию управления в разделе 2.1.2 использовано только одно ограничение – на максимальную температуру изделия; валидация разработанной нелинейной двумерной численной модели осуществляется путём сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными на лабораторной установке (глава 3); однако в 4 главе рассматривается модель с отличающимися геометрическими параметрами, для которой справедливость использования модели в оптимизационных процедурах без дополнительных пояснений неочевидна; неясно, зачем приводятся значительно уступающие по точности нагрева результаты, полученные методом M-NSGA при сравнении с результатами, полученными альтернативным методом и методом AGDEMO (таблица 4.5, стр. 113); в тексте диссертации встречаются опечатки: на с. 13 ошибочно указано число библиографических источников в списке литературы; на с. 54-55 абзац «взаимосвязанная система уравнений...» повторяется два раза.

2. Отзыв официального оппонента, д.т.н., профессора, Казаринова Л.С., ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» г. Челябинск, в котором содержатся следующие вопросы и замечания: не в полной мере ясно, по какой причине в задаче оптимального по быстродействию управления с ограничением на максимальную температуру используется параметризация управления на участке движения по ограничению только по амплитуде; не исследовано влияние реально действующих на объект неопределенных возмущений на взаимозависимость числа оптимизируемых параметров и достижимой температурной погрешности в конце интервала нагрева; информацию о доступных пакетах численного моделирования следует помещать в обзор литературы.

3. В отзыве официального оппонента, д.т.н., профессора Душина С.Е., ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург, указаны следующие замечания: не

обоснован выбор шаблона применяемой разностной схемы при моделировании; требует пояснения фразы о необходимости проверки разработанной численной модели на наличие ошибок; в работе нигде не указано время, необходимое для моделирования и оптимизации; желательно привести обоснование выбора мест установления термопар и их необходимого количества; неясно в какой мере лабораторная установка, сконструированная в институте электротехнологий университета им. Лейбница (г. Ганновер) отвечает промышленным (заводским) данным реальной установки; необходимо придерживаться единообразия в обозначении величин.

На автореферат диссертации поступили 5 отзывов.

1. Отзыв заведующего кафедрой «Электротехнология и электротехника» д.т.н., проф. Тимофеева В.Н. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск). Замечания касаются отсутствия информации о выборе частоты тока индуктора, зависимости требуемой температуры нагрева заготовки от марки стали или технического задания на закалку, неясности в описании процессов в торцевых частях закаливаемого изделия и проявления краевых эффектов из-за отсутствия информации о расположении витков индуктора по оси детали от её краёв.
2. Отзыв профессора кафедры «Автоматика и телемеханика» д.т.н., проф. Лачина В.И. ФГБОУ ВО «Южно-российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» (г. Новочеркасск). Замечания связаны с временем прямого расчета модели и количеством итераций оптимизационной процедуры, формой температурного распределения по границе закаливаемого слоя, когда число оптимизируемых параметров меньше используемого в работе.
3. Отзыв заведующего кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления д.т.н., доцента Капитанова А.В. и доцента кафедры компьютерных систем управления к.т.н., доцента Нижметдинова Р.А. ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН». Приведенные замечания касаются различных формулировок методики решения задачи проектирования и алгоритма решения задачи оптимального по быстродействию управления, а также отсутствия схемы алгоритма по ГОСТ 19.701-90 для визуального его представления, некорректного использования термина «алгоритм» по отношению к графику программного оптимального управления.
4. Отзыв заведующего кафедрой «Автоматизированных систем управления» д.т.н., доцента Антонова В.В. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». Замечаний по тексту автореферата не приводится.
5. Отзыв заведующего кафедрой электротехнологической и преобразовательной техники к.т.н., доцента Галунина С.А. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)». Замечания связаны с отсутствием обоснования сравнения результатов решения задачи оптимального проектирования с решением, найденным с помощью генетических алгоритмов.

Все отзывы положительные, отмечают актуальность темы диссертации, научную

новизну и практическую значимость основных положений работы, соответствие диссертационной работы Попова А.В. требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», указывается, что ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается многолетним опытом работы, высокой компетентностью в области управления технологическими процессами и соответствием научных интересов тематике диссертации, что подтверждается публикациями в научных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана новая** методика решения задачи оптимального проектирования индуктора для поверхностной закалки стальных заготовок, позволяющая обеспечить минимальное отклонение температуры поверхностного слоя упрочняемой детали от требуемого значения, как в условиях наличия полной информации, так и при интервальной неопределенности параметров, характеризующих стадию индукционного нагрева;

- **предложены** алгоритм решения задачи оптимального по быстродействию управления режимами нагрева в процессе поверхностной индукционной закалки с учётом ограничения на максимально допустимую температуру заготовки и автоматизированная процедура параметрической оптимизации конструктивных и режимных параметров нагревательной системы с использованием программного пакета Matlab и интеграцией разработанной численной FLUX-модели процесса нагрева для поверхностной закалки;

- **доказана** возможность существенного повышения качества технологических процессов поверхностной индукционной закалки за счет применения разработанных процедур параметрической оптимизации проектных решений и алгоритмов управления стадией индукционного нагрева.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказана** возможность распространения альтернативного метода параметрической оптимизации систем с распределенными параметрами на решение задач оптимального проектирования и управления температурными режимами индукционного нагрева в процессе поверхностного упрочнения стали;

- **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы оптимального управления системами с распределенными параметрами, в частности, альтернативный метод параметрической оптимизации нестационарных процессов теплопроводности, теории теплопроводности и электромагнетизма, а также методы численного моделирования;

- **изложены** теоретические основы предлагаемых методик решения задач оптимального проектирования и оптимального по быстродействию управления температурными режимами технологии поверхностной индукционной закалки;

- **раскрыта** необходимость постановки и решения задачи оптимизации конструктивных и режимных параметров индуктора для обеспечения требуемого температурного профиля в поверхностном слое упрочняемой детали при исключении локальных перегревов её поверхности;

- **изучены** основные качественные и количественные закономерности поведения взаимосвязанных электромагнитных и температурных полей на стадии индукционного нагрева процесса поверхностной закалки стальных цилиндрических заготовок, влияющие на температурные режимы технологии закалки.

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

- **разработана и внедрена** в проектные решения методика определения оптимальных конструктивных параметров индукционной установки, реализующей стадию нагрева процесса поверхностной закалки стальных заготовок;

- **определена** эффективность применения созданной методики для оптимального проектирования индуктора для поверхностной закалки стальных цилиндрических заготовок в условиях интервальной неопределенности начальной температуры заготовки и тепловых потерь с её поверхности;

- **создана** специализированная автоматизированная процедура оптимизации конструктивных и режимных параметров нагревательной системы в процессе поверхностного упрочнения стальных заготовок в программной среде Matlab с интегрированной в неё нелинейной двумерной численной FLUX-моделью рассматриваемой стадии индукционного нагрева;

- **представлены** практические рекомендации по технической реализации алгоритма оптимального по быстродействию управления с учётом ограничения на максимальную температуру заготовки в процессе поверхностной индукционной закалки.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **теория** построена на основе использования альтернативного метода параметрической оптимизации систем с распределёнными параметрами; полученные выводы и рекомендации подтверждаются корректным применением соответствующего математического аппарата, результатами компьютерного и натурного моделирования, научным обоснованием принятых положений и допущений, подробным анализом и оценкой полученных результатов;

- **идея базируется** на теоретически обоснованном использовании методов теории оптимального управления системами с распределёнными параметрами и на альтернативном методе для параметрической оптимизации температурных полей в процессах нестационарной теплопроводности;

- **использованы результаты** анализа работ отечественных и зарубежных авторов, современная теория управления объектами с распределёнными параметрами, а также экспериментальные исследования и численное моделирование;

- **установлено** соответствие результатов численного моделирования процесса индукционного нагрева экспериментальным данным.

Диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно «Положению о присуждении ученых степеней», паспорту научной специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы): пункту №10 «методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСТПП и др.», пункту №13 «теоретические основы и прикладные методы анализа и повышения эффективности, надежности и живучести АСУ на этапах их разработки, внедрения и эксплуатации», а её автор, Попов Антон Валерьевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Личный вклад соискателя состоит в решении научных и технических задач на всех этапах проведения диссертационного исследования: постановка и решение задач оптимального проектирования индуктора для поверхностной индукционной закалки стальных заготовок при наличии полной информации об объекте, и в условиях интервальной неопределенности начальной температуры заготовки и тепловых потерь с ее поверхности, постановка и решение задачи оптимального по быстродействию управления с ограничением на максимальную температуру поверхности упрочняемой заготовки, разработка численных моделей индукционного нагрева поверхностной закалки. Лично автором и в соавторстве подготовлено 12 публикаций по выполненной работе.

На заседании № 6 от 24 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Попову А.В. учёную степень кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы)».

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по научной специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за присуждение учёной степени» – 17, «против» – 0, «недействительных бюллетеней» – 0.

Председатель диссертационного
совета Д 212.217.07
Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.217.07



(Handwritten signatures)

Лившиц
Михаил Юрьевич
Ярославкина
Екатерина Евгеньевна

24 декабря 2020 г.