

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Попова Антона Валерьевича «Оптимальное проектирование и управление режимами индукционного нагрева в процессе поверхностной закалки», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы)

1. Актуальность диссертационного исследования

Диссертация А.В. Попова посвящена решению важнейшей научно-практической задаче, связанной с проблемой оптимального проектирования и управления режимами работы индукторов, используемых в процессах поверхностной закалки. Применение индукционного способа поверхностного упрочнения в серийном и массовом производстве изделий, выполненных из углеродистой стали или других ферромагнитных материалов, обусловлено его значительными преимуществами (высокая механическая прочность, экономичность, возможность автоматизации и управления процессами и др.). Важным условием работы индукционной нагревательной установки является необходимость обеспечения равномерного распределения температуры в поверхностном закаливаемом слое изделия с целью исключения структурной неоднородности, дефектов металла и сохранения прочностных характеристик по глубине слоя. Как правило, типовые индукционные нагревательные установки и их режимы функционирования не обеспечивают равномерности температурного распределения по закаливаемому слою. Указанные особенности режимов поверхностной закалки естественным образом определяют требования к выбору критериев оптимального проектирования и ограничений на управления режимами индукционного нагрева.

В общем случае стадия нагрева процесса поверхностной индукционной закалки характеризуется взаимосвязанными нелинейными математическими моделями электромагнитного и теплового полей, что существенно затрудняет получение точного аналитического решения. В связи с этим в работе ставится задача построения оптимизационной процедуры, включающей численные алгоритмы решения по выбранной разностной схеме. Задача решается как при полностью известных основных параметрах стадии нагрева, так и в условиях неопределенности, когда задаются интервалы их возможных значений.

Работа соискателя представляет известную научно-исследовательскую школу проф. Э.Я. Рапопорта и его учеников, успешно развивающую теорию пространственно-распределенных систем управления применительно к различным теплофизическим объектам.

Все это позволяет сделать заключение, что тема диссертации А.В. Попова, посвященная разработке методов и алгоритмов оптимизации

конструктивных и режимных параметров, используемых при закалке индукционных нагревателей, представляется важной и **актуальной**.

2. Анализ структуры и содержания работы

Диссертационная работа А.В. Попова состоит из введения, четырёх глав, заключения и трех приложений. Работа изложена на 149 страницах машинописного текста, список литературы содержит 119 наименований.

Работа выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК при Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям.

Рукопись диссертации оформлена согласно ГОСТ Р 7.01.11-2011 и ГОСТ 2-105. Диссертация отличается логической связностью, структура и содержание работы соответствуют целям и задачам исследования. Автореферат соответствует основным положениям диссертационной работы.

По результатам проведенных исследований автором опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ, 4 – в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science.

Опубликованные работы достаточно полно отражают основные результаты, полученные в рамках диссертационного исследования.

3. Научная новизна основных результатов и выводов диссертации

В диссертационной работе соискателем были получены следующие новые научные результаты.

1. Разработана методика оптимизации конструкции индуктора для поверхностной закалки стальных изделий, позволяющая в отличие от существующих, обеспечить равномерный нагрев поверхностного слоя закаливаемого изделия как при полностью определенной информации об основных параметрах стадии нагрева, так и в условиях интервального задания этих параметров.

2. Разработан новый алгоритм решения нелинейной задачи оптимального по быстродействию управления режимами индукционного нагрева в процессе поверхностного упрочнения с учётом ограничения на максимальную температуру поверхности заготовки, позволяющий обеспечить максимальную скорость нагрева закаливаемого слоя без перегрева отдельных участков заготовки. Отличительной особенностью алгоритма также является использование основных конструктивных и электрических параметров, найденных на этапе оптимального проектирования конструкции индуктора.

3. Разработана специализированная автоматизированная процедура оптимизации параметров конструкции и режимов функционирования индукционной нагревательной системы для поверхностной закалки, базирующаяся на альтернативном методе, с использованием численной двумерной модели.

Предложенная процедура параметрической оптимизации направлена на сокращение времени численных расчётов по сравнению с существующими процедурами, ориентированных на известные методы оптимизации.

4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Разработанные соискателем научные положения, численные модели, выводы и рекомендации достаточно обоснованы и подтверждены экспериментально. Основные положения, выносимые на защиту, направленные на оптимизацию параметров конструкции и режимов функционирования индукционных нагревателей в процессе поверхностной закалки стальных деталей, достоверны и в полной мере согласуются с известными результатами в исследуемой предметной области.

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов обуславливается корректным использованием методов численного моделирования и теории управления системами с распределенными параметрами. Справедливость решений, полученных на основе математических моделей, обосновывается совпадением результатов физического эксперимента на лабораторной нагревательной установке с результатами численных расчётов.

5. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики

Полученные в диссертационной работе результаты (проблемно-ориентированные численные модели, методики оптимального проектирования, алгоритм оптимального управления, специализированная автоматизированная процедура параметрической оптимизации, реализованная в среде MATLAB с интеграцией численной двумерной нелинейной модели процесса нагрева, разработанной в пакете Altair FLUX), имеют теоретическую и практическую значимость для проектирования электротехнологического оборудования и синтеза автоматических систем управления технологическими процессами термической обработки изделий индукционным способом.

Основные выводы и рекомендации были использованы в ряде научно-исследовательских работ, проводимых при поддержке РФФИ, Минобрнауки РФ, а также при проектировании систем автоматического управления процессами индукционного нагрева цилиндрических слитков перед обработкой давлением на металлургическом предприятии АО «Арконик СМЗ», а также были внедрены в учебный процесс Самарского государственного технического университета при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Управление в технических системах».

6. Замечания по диссертационной работе

По диссертации имеются вопросы и замечания

1. Для численного моделирования процесса предлагается использовать абсолютно устойчивую неявную разностную схему (стр.61). Однако обоснование выбора шаблона применяемой разностной схемы не приведено. В какой степени работа алгоритма по неявной схеме уступает по времени условно устойчивой явной разностной схеме?

2. Требуется пояснения фраза «После прохождения этапов численного моделирования в предпроцессоре разработанную модель необходимо сохранить и проверить на наличие ошибок» (стр.90). О каких ошибках здесь идет речь?

3. В работе нигде не указано реальное время, затрачиваемое на моделирование и оптимизацию, что важно при сравнении различных подходов.

4. В связи с подробным описанием расположения термопар (стр.98), было бы желательным привести обоснование выбора мест установки термопар, их необходимое количество.

5. В какой степени данные лаборатории института электротехнологий университета им. Лейбница (г. Ганновер), с которыми производилось сравнение результатов моделирования, отвечают промышленным (заводским) данным реальной установки?

6. Следовало бы придерживаться единообразия в обозначениях величин. Так, например, на стр. 20, 21 (рис.1.1, 1.2) температура обозначена как t , время – τ . В то же время, на стр. 33 в уравнении Фурье температура обозначается T , а время – t . На стр.5 не совсем удачно использовано сочетание слов «Первой операцией...», что предполагает, по крайней мере, вторую операцию, которая в тексте отсутствует.

Перечисленные замечания не носят принципиального характера и не снижают научно-практической ценности выполненной исследовательской работы.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней

Диссертационная работа Попова А.В. изложена методически грамотно и доказательно, ее научное содержание и стиль изложения соответствует современному уровню развития автоматизации и управления, а прикладные результаты направлены на повышение качества выпускаемой продукции за счет обеспечения поверхностного упрочнения стальных изделий при отсутствии локальных перегревов по объему обрабатываемой детали.

Диссертация представляет собой актуальную законченную научно-квалификационную работу, содержащую вполне обоснованные результаты исследований. В ней содержится необходимый объем новых результатов, имеющих научную новизну и практическую ценность, ее основное содержание полностью отражено в автореферате и опубликованных статьях.

Диссертационная работа соответствует пунктам паспорта специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы)»: п. 10 «методы синтеза специального математического обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистему АСУТП, АСУП, АСПП и др.», п.13 «теоретические основы и прикладные методы анализа и повышения эффективности, надежности и живучести АСУ на этапах их разработки, внедрения и эксплуатации».

Считаю, что представленная диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК при Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Попов Антон Валерьевич, **заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук** по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы)».

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры Автоматики и процессов управления
Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

 С.Е. Душин

Подпись профессора Душина Сергея Евгеньевича, удостоверяю.

Исходный текст

к.т.н.



С.Е. Душин

Т.М. Мельник

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Адрес: 197376, г. Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5.

Контактный телефон: +7(812)346-44-87, контактный факс: +7(812)346-27-58

Адрес электронной почты: root@post.etu.spb.ru. Веб-сайт: <http://www.eltech.ru>