

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Филипенко Николая Григорьевича
«Автоматизированное управление процессами высокочастотного
термического и комбинированного воздействия на полимерные материалы,
применяемые в транспортном машиностроении», представленной на
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (транспорт)

Актуальность выбранной темы исследования

В последние десятилетия в промышленности все большее применение стали находить полимерные материалы, которые, благодаря их уникальным свойствам, приходят на смену цветным металлам, нержавеющей стали и другим конструкционным материалам. Использование деталей и узлов из полимерных материалов в машиностроении позволяет снизить вес транспортных средств с одновременным улучшением их эксплуатационных характеристик. К наиболее прогрессивным способам изготовления деталей из полимеров следует отнести технологии, связанные с обработкой полимерных материалов методами высокочастотной (ВЧ) электротермии. Несмотря на высокую практическую значимость данной технологии, существуют проблемы, связанных с обработкой, хранением и эксплуатацией полимерных деталей. К этим проблемам следует отнести многофакторность процессов электротермии, недостаточную изученность технологических режимов ВЧ-обработки материалов. Например, применение энергии ВЧ электромагнитных колебаний частотой 27,12 МГц для сушки полимеров интенсифицирует процесс сушки этих веществ по сравнению с традиционными способами, например, конвекционным, тепловым излучением, т. к. ВЧ электромагнитная волна проникает вглубь диэлектрика. В результате тепловыделение происходит в объеме, значительно большем, чем при традиционных способах. В тоже время, выбрав достаточно высокую частоту для увеличения удельной мощности с целью ускорения процесса термообработки, можно не получить ожидаемого тепловыделения в глубине нагреваемой среды и даже перегреть ее наружный слой. В результате до настоящего времени наиболее рациональные режимы ВЧ-обработки пластмасс определяются индивидуально для каждой конкретной конструкции изделия. Это положение возможно изменить, оснатив ВЧ-оборудование системами автоматизированного управления с контролем электрофизических параметров материалов. В настоящее время промышленный выпуск ВЧ-установок такого типа не налажен. Также недостаточно полно изучены свойства современных конструкционных полимеров и их композитов.

Таким образом, актуальность диссертационной работы Филипенко Николая Григорьевича не вызывает сомнений.

Общая методология и методика исследования

Автором диссертационной работы на основе литературного анализа определены цели и задачи, предмет и объект исследования. Проведен анализ существующих решений автоматизированного управления процессами ВЧ-электротермии. Проведен анализ методологий автоматизированных систем проведения экспериментов и научных исследований ВЧ-электротермии. Автором разработана структурная схема методологии исследования в области построения автоматизированной системы управления процессом ВЧ-электротермии полимерных материалов разной степени полярности с целью термического и комбинированного воздействия на них электромагнитного поля. К основным определяющим параметрам ВЧ-термического нагрева полимерных материалов автор относит электрофизические значения показателя диэлектрических потерь материалов (диэлектрическую проницаемость - ϵ' и тангенс угла диэлектрических потерь - $\operatorname{tg}\delta$). С помощью разработанной автором автоматизированной системы научных исследований проведены эксперименты по исследованию процессов импульсного высокочастотного воздействия, произведено моделирование процессов нагрева оснастки и полимерных материалов. На основе проведенных исследований были разработаны алгоритмы управления технологическим процессом сварки и сушки полимеров, приведены примеры практического применения разработанной технологии и оборудования.

Внутреннее единство структуры работы

Диссертационная работа изложена на 358 страницах машинописного текста, иллюстрируется 177 рисунками, 31 таблицей. Работа состоит из введения, 5 глав, выводов, библиографического списка из 333 наименований и приложений.

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, кратко сформулированы итоги работы по главам диссертации, определены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы основные понятия эксплуатационных свойств деталей из полимеров и перспективность их использования в транспортном машиностроении. Были проанализированы особенности развития и возможности ВЧ электротермии. Отмечен тот факт, что АСУ ТП в настоящее время представляют собой системы экстремального управления. Кроме этого, отмечено использование ВЧ в процессах диагностирования без применения процессов их автоматизации. Было определено, что методологии построения АСНИ ВЧ направлены в основном на исследования только фазово-агрегатных состояний полярных термопластов. На основе литературного обзора выявлены недостатки существующих систем управления процессами электротермии. Главными выводами по первой главе является утверждение о том, что в настоящее время существующие АСУ ТП

не отвечают требованиям современности и не позволяют проводить исследования процессов управления ВЧ-электротермией термического и комбинированного воздействия на разнополярные конструкционные полимерные материалы. Современные конструкционные полимерные материалы не классифицированы по изменяемым электрофизическим параметрам крайне важным с точки зрения управляемости при воздействии на них ВЧ-поля. Отсутствуют модели процесса электротермии позволяющие получить данные объемного распределения тепла при обработке различных полимерных изделий сложной формы, учитывающие степень полярности современных конструкционных материалов. В конце главы автор приводит цель работы и задачи, решаемые в процессе диссертационного исследования.

Во второй главе автором была разработана классификация, отражающая свойства полимеров по электрофизическим показателям и результатам воздействия на них ВЧ-поля. Такая классификация позволила систематизировать термические, нетепловые и комбинированные воздействия ВЧ-электротермии на полимерные материалы разной степени полярности и даже на стадии внедрения позволила определить новые направления процессов ВЧ-электротермии. Автор утверждает, что в настоящее время наиболее удачным, реально отражающим результаты воздействия электромагнитного поля при построении систем контроля и управления АСУ ТП и АСНИ ВЧ полимерных и композитных материалов разной степени полярности можно считать термины «неэкстремальные», «одноэкстремальные» и «многоэкстремальные» параметры воздействия ВЧ-поля. Автором предложена структура новой автоматизированной системы научных исследований процессов термического и комбинированного воздействия высокочастотной электротермии на полимерные материалы разной степени полярности, отличающаяся от известных наличием вариативной части и системно – интегрированным банком знаний.

В третьей главе изложены и научно обоснованы технические и технологические решения по созданию экспериментальной автоматизированной установки по определению электрофизических свойств и диэлектрических потерь разнополярных полимерных материалов. Процесс управления нагревом с контролем заданных параметров в установке осуществлялся микроконтроллером ATmega 2560, программная часть АСНИ ВЧ была дополнена разработанными автором алгоритмами управления линейного равномерного нагрева исследуемого материала, контроля агрегатного состояния расплава и алгоритмом импульсной подачи ВЧ-поля и измерения анодного тока. В рамках исследования автором была разработана и реализована методика и алгоритм прямого измерения температуры образца в активной зоне ВЧ-генератора. С помощью разработанной автором автоматизированной системы научных исследований АСНИ ВЧ проведены эксперименты по исследованию полимерных материалов, наиболее часто применяемых транспортной отраслью промышленности, таких как блочный полиамид (ПА6), ПВХ-пластикат (ОМБ-60), «Армамид» (стеклонаполненный полиамид, ПА СВ 30-1 ЭТМ), полиуретан (СКУ-7Л). Исследования

импульсного ВЧ-воздействия производились на модернизированной АСНИ ВЧ при изучении свойств электротермии полимерных материалов разной степени полярности марок ПВХ, ОМБ-60 и ПА6. При этом были получены температурные зависимости диэлектрических потерь, отражающие отличный друг от друга характер восприимчивости исследованных материалов к высокочастотному воздействию.

Автором разработана математическая модель нагрева технологической системы, представляющая собой систему дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности с внутренними источниками тепла, отличающаяся трехмерной постановкой задачи (3D постановка), возможностью изменения количества слоев технологической системы и учетом теплопроводности. Установлены закономерности влияния нагреваемого неизолированного электрода на смещение координаты точки максимального нагрева при последовательной обработке партии деталей и предложена методика смещения или поддержания этой зоны в обрабатываемых деталях, что позволяет повысить качество сварки разнотолщинных изделий. Разработан и экспериментально подтвержден метод ВЧ-диагностирования изделий из полимерных материалов, заключающийся в одновременном выявлении дефектов «металлическое включение» по контролю потребляемой энергии работы высокочастотного оборудования, «воздушное включение» по контролю количества возникновения частичных разрядов, а также состояния «повышенное влагосодержание» по времени электротермического нагрева.

В четвертой главе автором представлена система автоматизированного управления процессами термического и комбинированного ВЧ-воздействия на детали из полимерных материалов разной степени полярности применительно к условиям промышленной эксплуатации. Разработана схема построения автоматизированного ВЧ-оборудования и алгоритмическое решение его функционирования. Также была алгоритмически решена задача создания комплексной АСУ ТП термического и комбинированного воздействия ВЧ-электротермии на полимерные материалы разной степени полярности. В главе представлено созданное автором программное и аналитическое обеспечение процесса расчета режимов ВЧ-электротермии конструктивно сложных изделий транспортного назначения, отличающихся геометрическими размерами и формами, выполненных из полимеров имеющие различные электрофизические параметры.

В пятой главе приведены примеры практического применения разработанной технологии и оборудования. Разработанные система автоматизированного управления электротермическим процессом и принцип разделения конструкции на зоны обработки с созданием пространственной схемы ВЧ-рабочих конденсаторов позволили осуществить обработку геометрически сложных изделий без риска возникновения пробоя и деструктивных изменений полимеров. Особое внимание было посвящено разработке метода диагностирования деталей из полимеров при использовании ВЧ-комбинированного воздействия в промышленных

условиях на ремонтных предприятиях ОАО РЖД. Также был проведен анализ возможностей АСНИ ВЧ при долгосрочном прогнозировании остаточного ресурса полимерных изоляционных материалов силовых кабелей. Был представлен принцип управления высокочастотной электротермической сушкой гигроскопичных многокомпонентных материалов в полимерной отрасли, используемых на транспорте. Были рассмотрены процессы управление ВЧ-сушкой, плавлением и прессованием, брикетированием природных полимеров, используемых в качестве топливных конгломератов в твердотопливных котлах (титанах) подвижного состава РЖД.

В общих выводах приведены основные результаты и выводы по работе.

В приложениях приведены результаты внедрения диссертационных исследований в промышленность, охранно-правовые документы на результаты интеллектуальной деятельности, листинги программных комплексов, разработанных автором.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Основные научные выводы и положения подтверждаются теоретическим анализом, результатами экспериментальных исследований и результатами моделирования на ЭВМ. Научные положения аргументированы, описанные физические явления, и полученные результаты исследований не противоречат положениям физики. Выводы подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями, их воспроизводимостью и результатами математической обработки с использованием сертифицированных программ.

Научная новизна полученных результатов.

1. Разработаны новые научно-технические и технологические решения в области автоматизации процессов управления высокочастотной электротермией термического и комбинированного воздействия на разнополярные полимеры, внедрение которых обеспечивает повышение производительности труда в научной и производственной деятельности и вносит значительный вклад в развитие транспортной отрасли промышленности, связанной с электротермической обработкой и диагностикой конструкционных полимерных материалов.
2. Разработана математическая модель нагрева технологической системы при высокочастотной электротермии, представляющая собой систему дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности с внутренними источниками тепла, позволяющая анализировать объемный разогрев в процессе высокочастотной электротермии при обработке полимерных изделий, как простой, так и сложной формы, отличающаяся от известных трехмерной постановкой задачи, возможностью изменения количества слоев технологической системы и учетом температурной зависимости удельной теплоемкости и теплопроводности.

3. Разработана новая математическая модель высокочастотного диэлектрического нагрева изделия с дефектом типа «металлическое включение», предназначенная для расчета основных необходимых параметров автоматизированного процесса диагностирования, позволяющая определить состояние изделия и повысить качество полимерных изделий.
4. Разработан метод управления высокочастотной обработкой полимерных материалов разной степени полярности, отличающийся контролем момента достижения экстремумов скорости изменения анодного тока и экстремумов анодного тока при импульсном режиме работы высокочастотного генератора, позволяющий формировать управляющие сигналы систем автоматизированного управления при фазово-релаксационных превращениях в изделиях и повысить качество полимерных изделий.
5. Разработан метод управления процессом высокочастотного диагностирования изделий из полимерных материалов, позволяющий повысить качество полимерных изделий, заключающиеся в одновременном выявлении дефектов «металлическое включение» по контролю потребляемой энергии работы высокочастотного оборудования, «воздушное включение» по контролю частоты возникновения частичных разрядов, а также состояния «повышенное влагосодержание» по времени электротермического нагрева.
6. Разработаны новые алгоритмы автоматизированного управления технологическими процессами:
 - электротермии полимерных материалов разной степени полярности, отличающиеся использованием в качестве контролируемого параметра скорость изменения анодного тока при непрерывном и импульсном высокочастотном воздействии;
 - диагностирования изделий комбинированным высокочастотном воздействием, позволяющие выявлять дефекты различного вида (воздушные и металлические включения) и проводить акклиматизацию материала при состоянии повышенного влагосодержания;позволяющие повысить производительность и качественные показатели изделий из полимерных материалов разной степени полярности в процессе автоматизированной термической и комбинированной высокочастотной обработке.

Значение выводов и рекомендаций для науки и практики

Полученные новые взаимозависимости между электрофизическими параметрами электротермического оборудования и свойствами обрабатываемого материала и алгоритмы автоматизированного управления

высокочастотной обработкой полимеров, позволяют создать теоретические основы для построения автоматизированного управления технологическими процессами высокочастотной электротермии.

Созданы автоматизированные системы управления ВЧ-обработкой, позволяющие реализовать технологические процессы сушки, сварки, диагностики, восстановления эксплуатационных свойств полимерных материалов разной полярности. В их основу положены алгоритмы функционирования автоматизированной системы управления процессами электротермии, позволяющие сделать регулируемым процесс высокочастотной обработки полимерных материалов в режиме его предпробойного состояния с учетом температуры поверхности материала, что повышает энергоэффективность процесса, качество обработки и срок службы дорогостоящей технологической оснастки.

Соответствие содержания диссертации содержанию и качеству опубликованных работ

По результатам диссертационного исследования опубликованы 75 печатных работ, в том числе 22 публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ. 7 публикаций в статьях в изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах Web of Science и Scopus, получено 4 патента на изобретения, 1 патент на полезную модель и 11 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Содержание опубликованного материала соответствует направлению научных исследований, изложенному в тексте диссертационной работы.

Соответствие темы диссертации заявленной научной специальности

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт)

п.3 Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.

п.4 Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация.

п.5 Теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУТП, АСУП, АСТПП и др.

п.6 Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления.

Замечания по работе:

1. Порядок изложения материалов в тексте диссертации регламентируется ГОСТ Р 7.0.11-2011. Автор этот порядок нарушает. Так, например, цель и задачи диссертационной работы должны располагаться в разделе «Введение», а у автора они почему-то стоят в конце первой главы. Список сокращений должен размещаться в конце основного текста, а у автора он размещается перед основным текстом.
2. Предложенные автором формулировки научной новизны требуют уточнения.
Формулировка п.2 новизны не позволяет однозначно идентифицировать заявляемую автором методологию, поэтому считаю, что этот пункт надо убрать.
Формулировка п.3 новизны соотносит его, скорее, к практической значимости работы, поэтому считаю, что этот пункт надо убрать.
3. В тексте диссертации встречаются опечатки. Например, на странице 24 диссертации в формуле 2 в левой и правой части стоит параметр I .
4. На странице 110 диссертации блок-схема алгоритма поиска решений выполнена не по ГОСТ 19.701-90.
5. Включение в основной текст диссертации методики расчета экономической эффективности, на мой взгляд, (раздел 5.6.1) является малообоснованным для специальности 05.13.06, достаточно было справки в приложении.
6. Замечания по автореферату. Автор включает в общую характеристику работы разделы - объект исследования, предмет исследования, соответствие специальности, которые в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 не являются обязательными для автореферата. В тоже время, в автореферате не отражено содержание приложений, а они в диссертационной работе есть. Автор совмещает разделы «Научная новизна» и «Положения, выносимые на защиту». Считаю это не правильным, т.к. положения, выносимые на защиту по содержанию «шире» и должны включать в себя положения из раздела научной новизны и положения из раздела практической значимости.

Приведенные замечания в целом не снижают ценность полученных результатов и общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе.

Заключение по работе:

Диссертационная работа Филипенко Николая Григорьевича «Автоматизированное управление процессами высокочастотного термического и комбинированного воздействия на полимерные материалы, применяемые в транспортном машиностроении» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в

которой изложены новые научно-технические и технологические решения в области автоматизации процессов управления высокочастотной электротермией термического и комбинированного воздействия на разнополярные полимеры, внедрение которых обеспечивает повышение производительности труда в научной и производственной деятельности и вносит значительный вклад в развитие страны.

Работа обладает актуальностью, результаты работы обладают научной новизной и практической значимостью, результаты и выводы обоснованы и достоверны. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы. Результаты диссертации соответствуют паспорту специальности 05.13.06.

Диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Филипенко Николай Григорьевич заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт).

ФГБОУ ВО «Сибирский
государственный университет науки
и технологий имени академика
М.Ф. Решетнёва»,
г. Красноярск
660014, г. Красноярск, пр. им. газеты
«Красноярский рабочий», 31
тел.: (391) 291-92-40
E-mail: avm514@mail.ru

заведующий кафедрой
«Информационно-управляющих
систем»
доктор технических наук, профессор

Александр Владимирович
Мурыгин

Подпись А.В. Мурыгина заверяю
Проректор по НИД
СибГУ им. М.Ф. Решетнёва



Ю.Ю. Логинов

19.11.2020