

ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ СИСТЕМ И ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СО РАН
БАЙКАЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР АКАДЕМИИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК РФ

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ**

ДВАДЦАТЬ СЕДЬМОЙ ВЫПУСК

ИРКУТСК 2016

УДК 681.518.54
ББК 32.965
И 74

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

академик РАИН, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор Ю.Ф. Мухопад (научный редактор); д.т.н., доцент В.Н. Сизых (зам. научного редактора); д.т.н., профессор А.В. Данеев, д.т.н., профессор М.П. Дунаев (НИ ИрГТУ); д.т.н., профессор С.К. Каргапольцев; д.т.н., проф. А.В. Крюков; д.т.н., профессор В.С. Марюхненко; д.ф.-м.н., доцент В.А. Русанов (ИДСТУ СО РАН); д.т.н., профессор О.А. Скрыпник (ИФ МГТУ ГА); д.т.н., профессор А.П. Хоменко (ректор ИрГУПС).

И74 Информационные системы контроля и управления

в промышленности и на транспорте: Сб. науч. трудов. – Иркутск: ИрГУПС, 2016. – Вып. 26. –162 с.

ISBN 978-5-98710-222-0

Сборник содержит новые результаты по элементам и устройствам систем управления, контролю, диагностике и моделированию систем управления в промышленности и на транспорте. Статьи рассчитаны на специалистов, интересующихся системами контроля и управления и их применением в промышленности и на транспорте, а также будут полезны студентам и аспирантам вузов соответствующих специальностей.

**УДК 681.518.54
ББК 32.965**

©Иркутский государственный университет
путей сообщения, 2016

© Институт динамики систем и теории
управления СО РАН, 2016

© Байкальский научный центр академии
инженерных наук РФ, 2016

ISBN 978-5-98710-222-0

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИМИ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проведенный анализ оборудования электротермической обработки полимерных материалов на предмет его автоматизации позволил разработать алгоритм автоматизированного исследования, реализованный в виде программного обеспечения и автоматизированной системы управления процессом контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах при электротермической обработке.

Разработанная система управления позволяет на качественно новом уровне производить технологические процессы сушки, сварки и термоупрочнения изделий из природных, искусственных и синтетических полимерных материалов.

Ключевые слова: полимеры, фазовые превращения, релаксационные превращения, термическая обработка, высокочастотная обработка, ПИД-регулятор, автоматизированная система управления.

Введение. Изучение процесса фазовых и релаксационных превращений, происходящих в полимерах, весьма актуальный вопрос, решение которого необходимо для организации управления механическими и электрофизическими свойствами изделий из полимерных материалов.

Одним из наиболее доступных в машиностроении методов управления механическими свойствами полимеров служит термическая обработка. Применительно к полимерным материалам различают четыре вида термообработки: закалка, отжиг, нормализация, отпуск [1].

В работе [2] в результате проведенного теоретического анализа и экспериментальных исследований был выбран высокочастотный диэлектрический способ термической обработки полимеров; определен комплекс контролируемых параметров процесса нагрева полимерных материалов; разработана методика определения структурных превращений в полимерах, заключающаяся в линейном разогреве полимерного образца контактным способом с постоянным контролем теплового расширения и периодической подачей на образец ВЧ-энергии.

Постановка цели и задач исследования. Для повышения эффективности использования потенциальных возможностей разработанной методики [2] необходимо создание автоматизированной системы управления (АСУ) процессом контроля фазовых и релаксационных (структурных) превращений в полимерных материалах, что и является целью данной работы. Для достижения поставленной цели необходимо:

– проведение анализа оборудования электротермической обработки полимерных материалов на предмет его автоматизации;

- разработка АСУ процессом контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах;
- разработка и изготовление блока автоматизации процесса контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах;
- апробирование АСУ, контроль фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах.

Анализ оборудования электротермической обработки полимерных материалов и состояния вопроса его автоматизации. Анализ электротермического оборудования, в рамках проводимых исследований, сводится к решению такого вопроса, как состояние и возможности автоматизации оборудования высокочастотной обработки.

На основе анализа большого количества разработок [3-7] посвященных совершенствованию технологии ВЧ-нагрева его оснастки и автоматизации процессов можно сделать вывод о том, что большинство разработок грешат академичностью и малоприменимы для проводимых исследований, а также промышленного использования [3].

Тем не менее, в работах [4, 8] представлена система управления ВЧ-оборудованием промышленного использования, которая лишена многих недостатков АСУ, а именно: ориентация работы на максимальных мощностях, незначительное количество предварительно вводимых параметров, универсальность по обрабатываемым термопластам, АСУ имеет дополнительный защитный контур по частичным разрядам (ЧР) для предотвращения пробоя [3]. Тем самым, данная система была принята за основу для проводимых исследований, но нуждается в модификации.

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что совершенствование и внедрение автоматизированных систем управления процессом высокочастотной обработки полимерных материалов является актуальной задачей. Ее решение позволит расширить возможности проводимых исследований.

Разработка АСУ процессом контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах. В работах [2, 4] было отмечено, что в современной технологии ВЧ-электротермии полимеров отсутствует техническая возможность прямого контроля параметров обрабатываемого материала. Особая роль в технологии ВЧ-электротермии отводится задаче корректного расчета продолжительности процесса обработки – до достижения в обрабатываемом термопласте фазового превращения, соответствующего состоянию плавления (текучести) и сегментальной подвижности [9].

В работе [2] была разработана методика определения структурных превращений в полимерных материалах в процессе электротермической обработки, за контролируемые параметры обработки в которой были приняты анодный ток ВЧ-генератора и тепловое расширение полимерного образца.

Необходимо отметить, что авторами использовался еще один показатель термообработки (температура образца), но его значения в поставленной ими задаче не оказывали влияния на полученные результаты. При разработке системы управления в рамках настоящего исследования, данный показатель был принят в качестве контрольно-управляющего сигнала.

Следующим этапом разработки системы управления процессом контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерах было – создание алгоритма управления и его реализация применительно к существующим ВЧ-установкам промышленного типа. Для создания данного алгоритма за основу была взята методика, разработанная в работе [2].

Разработанный алгоритм управления процессом нагрева полимерных материалов представлен на рис. 1.

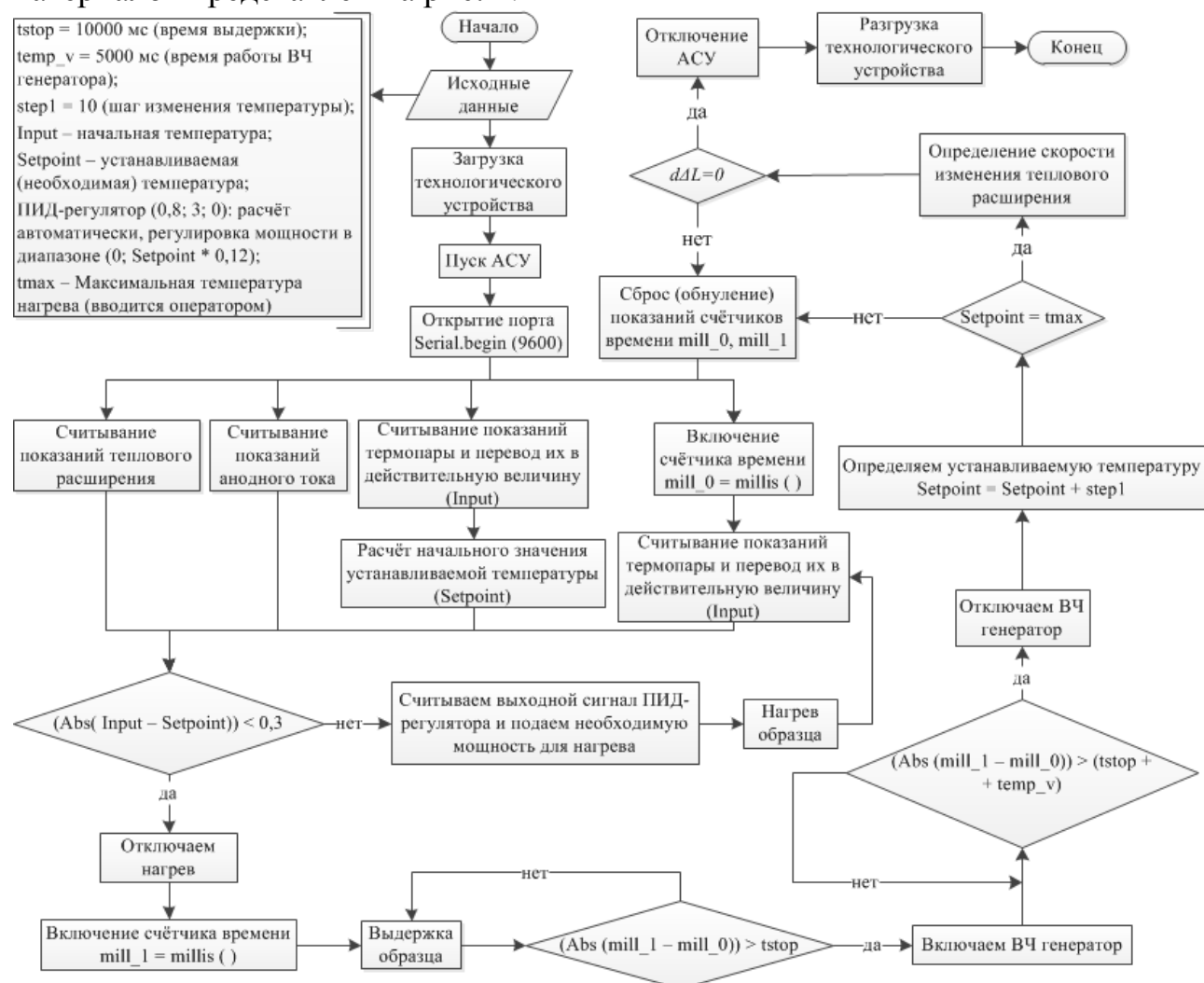


Рис. 1. Блок-схема алгоритма управления процессом нагрева

Алгоритм АСУ построен таким образом, что оператор имеет возможность изменять параметры работы системы в зависимости от исследуемого материала. Например, скорость нагрева регулируется за счёт поправочного коэффициента (в алгоритме этот коэффициент 0,12); процесс нагрева осуществляется до момента достижения образцом температуры плавления;

также регулируется периодичность включения ВЧ-генератора за счёт шага изменения температуры (step1).

Разработанный алгоритм системы управления процессом нагрева полимерных материалов имеет следующие особенности:

- он разработан по многозадачной схеме;
- схема построена по невытесняющему типу процедуры планирования;
- жестко прописаны приоритеты задач.

Данный алгоритм позволил приступить к задаче по проектированию блока автоматизации.

Разработка и изготовление блока автоматизации процессом контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах. Разработка и изготовление блока автоматизации процесса велось на основе блока автоматизации процесса сушки (сварки) изделий ВЧ-излучением, представленного в работе [4] и блока автоматизации процесса диагностики методом высокочастотного излучения в работе [7]. Модернизация данных блоков осуществлялась с использованием следующих дополнительных устройств: нагревательный элемент, операционный усилитель, симисторный драйвер, датчик температуры (термопара), датчик теплового расширения.

Исполнительный механизм, производящий регулирование напряжения на обкладках рабочего конденсатора представлен в виде сервопривода на основе шагового двигателя марки «КВА-Planeta». Данный механизм предусматривает точный поворот подвижной пластины переменного конденсатора на заданный угол. За основу были взяты разработки, приведенные в работе [7].

В качестве исполнительного механизма, отвечающего за нагрев полимерного образца, был использован нагревательный элемент с плоской качественно обработанной поверхностью.

Контроль момента достижения образцом температуры плавления осуществляется датчиком теплового расширения, разработанным на базе микрометра часового типа.

Принцип работы датчика теплового расширения заключался в следующем. По тонкой пластине полупроводникового материала, как показано на рис. 2, протекает ток I . При наличии магнитного поля на движущиеся носители заряда (электроны) действует сила Лоренца. Эта сила искривляет траекторию движения электронов, что приводит к перераспределению объёмных зарядов в полупроводниковой пластине. Вследствие этого на краях пластины, параллельных направлению протекания тока, возникает разность потенциалов (э.д.с. Холла) [12].

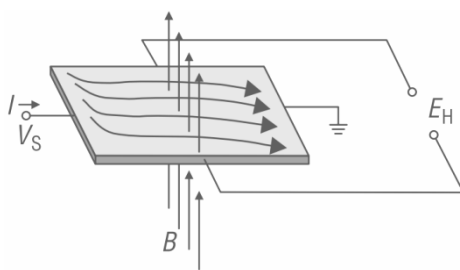


Рис. 2. Иллюстрация принципа работы датчика теплового расширения

Для управления процессом электротермической обработки была использована микроконтроллерная плата промышленного логического контроллера семейства Arduino Mega 2560.

Возможности программируемого логического контроллера [11] считывать и обрабатывать наряду с аналоговыми и цифровые данные позволили организовать необходимую систему управления.

На рис. 3 изображена структурная схема блока автоматизации устройства электротермической обработки полимерных материалов.

Особенностью разработанного в рамках данной работы блока автоматизации является то, что не вносятся изменения в существующие принципиальные электрические схемы устройств высокочастотной обработки и в разработанные блоки автоматизации ВЧ обработки. Блок легко изготавливается и может быть использован не только для исследовательских целей, но и для различных видов промышленной термической обработки изделий. Таким образом, созданная по данному алгоритму АСУТП, позволяет производить в автоматизированном режиме исследования фазовых превращений в полимерных материалах.

Апробирование АСУ. Контроль фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах. По разработанной методике [2] с применением созданной АСУТП проведены исследования взаимосвязей электрофизических параметров электротермического оборудования и полимерных материалов поливинилхлорид ОМБ-60, полиамид ПА6, стеклонаполненный полиамид (армамид ПА СВ 30-1 ЭТМ).

Размеры образцов подбирались согласно условия максимальной эффективности обработки на высокочастотной установке модели УЗП 2500, что соответствует площади образца в 125 см^2 . Натурные испытания не были ограничены размерами, соответствующими максимальной мощности ВЧ-генератора и дополнительно был проведён ряд экспериментов с образцами меньших размеров.

Согласно разработанной методике [2] и АСУТП контроль параметров (анодный ток, температура, тепловое расширение) осуществлялся в режиме реального времени адаптированным программным комплексом PowerGraph, способным принимать данные с ПЛК за счёт созданного совместно с разработчиком оригинального драйвера. Драйвер был включён разработчиками в инсталляционный пакет PowerGraph.

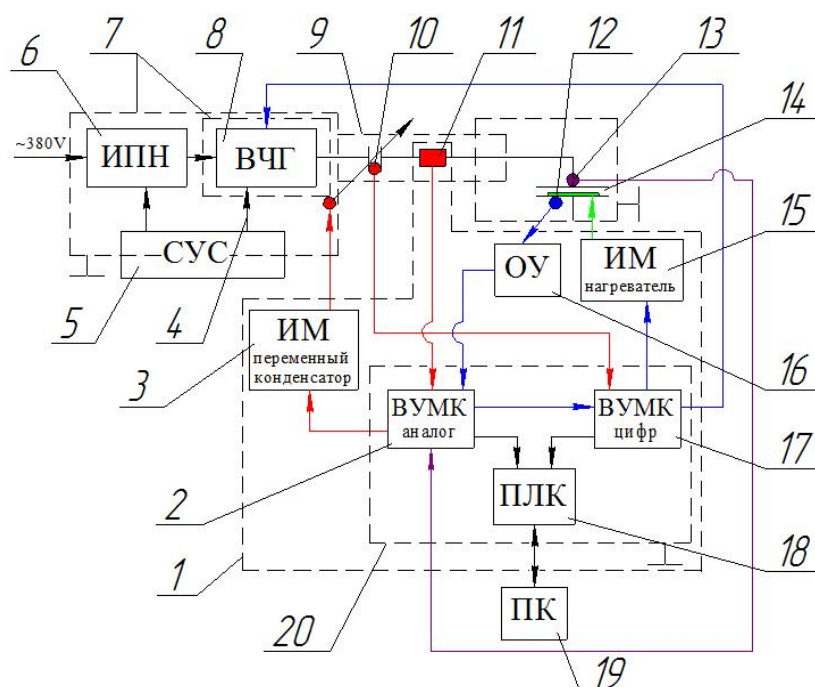


Рис. 3. Структурная схема блока автоматизации устройства:

1 – блок автоматизации; 2 – вычислительное устройство микроконтроллера (аналоговые входы); 3 – исполнительный механизм переменного конденсатора; 4 – цепь управления генератором; 5 – система управления сигнализация; 6 – источник постоянного напряжения; 7 – экранирующий корпус; 8 – высокочастотный генератор; 9 – коаксиальный кабель; 10 – датчик угла поворота; 11 – линейный токовый датчик; 12 – термомпара; 13 – датчик теплового расширения; 14 – рабочий конденсатор; 15 – исполнительный механизм нагревательного элемента; 16 – операционный усилитель; 17 – вычислительное устройство микроконтроллера (цифровые входы/выходы); 18 – промышленный логический контроллер; 19 – персональный компьютер; 20 – помехозащищенный корпус

Полученные данные использовались для обработки (построения графиков), с дальнейшим их анализом.

Графический вид полученной информации по каналу анодного тока I_a представлен на рис. 4. Анализ полученных данных позволил построить зависимости анодного тока от температуры $I_a = f(T)$.

Согласно разработанному алгоритму АСУТП, описанному ранее, разогреваемый полимерный образец на определённый промежуток времени τ подвергается ВЧ-излучению. Необходимо отметить, что вне зависимости от времени воздействия ВЧ-излучение оказывает влияние на полимер, т. е. образец выделяет тепло, что представлено полученными экспериментальными данными (рис. 4). Степень воздействия определяется диэлектрическими свойствами обрабатываемого материала.

В соответствии с вышесказанным, в рамках настоящего исследования была определена некоторая постоянно возникающая зависимость анодного тока от времени импульсного ВЧ-воздействия. Наиболее показательные изменения были обнаружены при ВЧ-обработке ПВХ (рис. 4). В связи с

этим, ширина высокочастотного импульса анодного тока была условно разделена на три участка, которым были присвоены следующие названия: начало (фронт), центральная область и конец (спад).

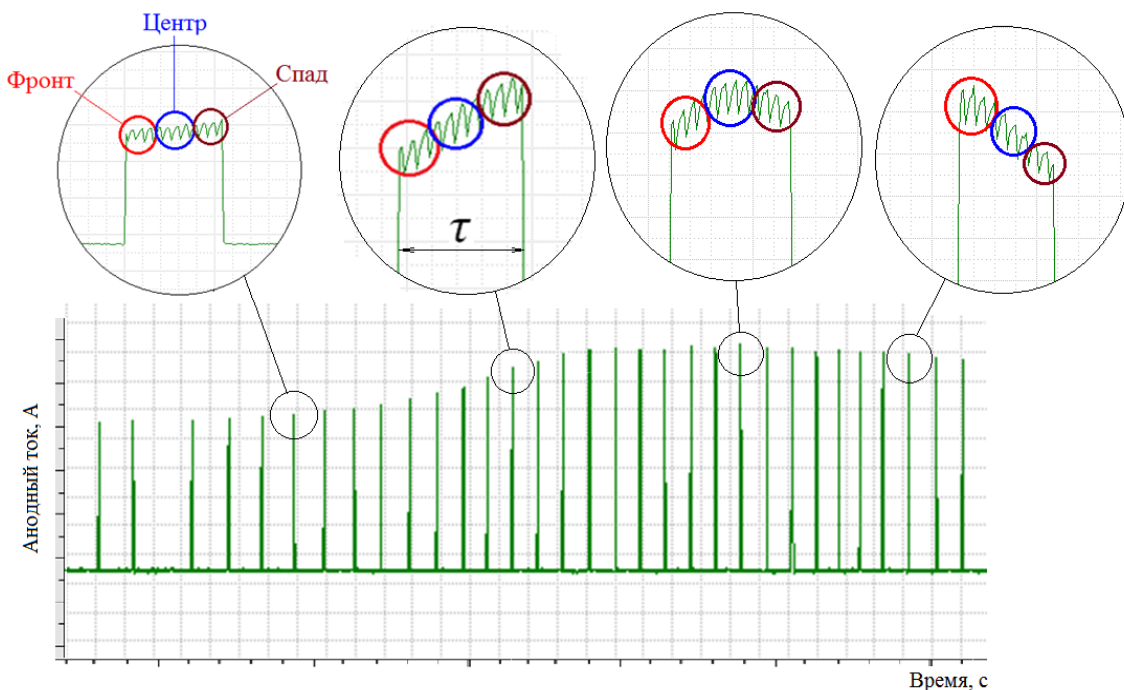


Рис. 4. Контроль анодного тока в программном комплексе PowerGraph

Участок фронта характеризуется переходными процессами, происходящими в рабочем конденсаторе при включении ВЧ-генерации (например, зарядка конденсатора). Аналогичные процессы наблюдаются на участке спада.

Полученные экспериментальные данные позволили построить зависимости $I_a = f(T)$ по всем трём участкам, представленные на рис. 5. Анализ данных позволяет сделать вывод, что для всех областей высокочастотного импульса на всех исследованных материалах наблюдается одинаковая тенденция изменения анодного тока от температуры с хорошо просматриваемыми максимальными и минимальными значениями анодного тока.

Полученные экспериментальные данные позволили построить зависимости теплового расширения от температуры $\Delta l = f(T)$, на которых отчетливо просматривается начало плавления полимерных образцов. Совмещая построенные зависимости теплового расширения и анодного тока, как показано на рис. 6 – 8, получаем, что изменение фазового состояния (начало плавления) соответствует первому минимуму значений анодного тока.

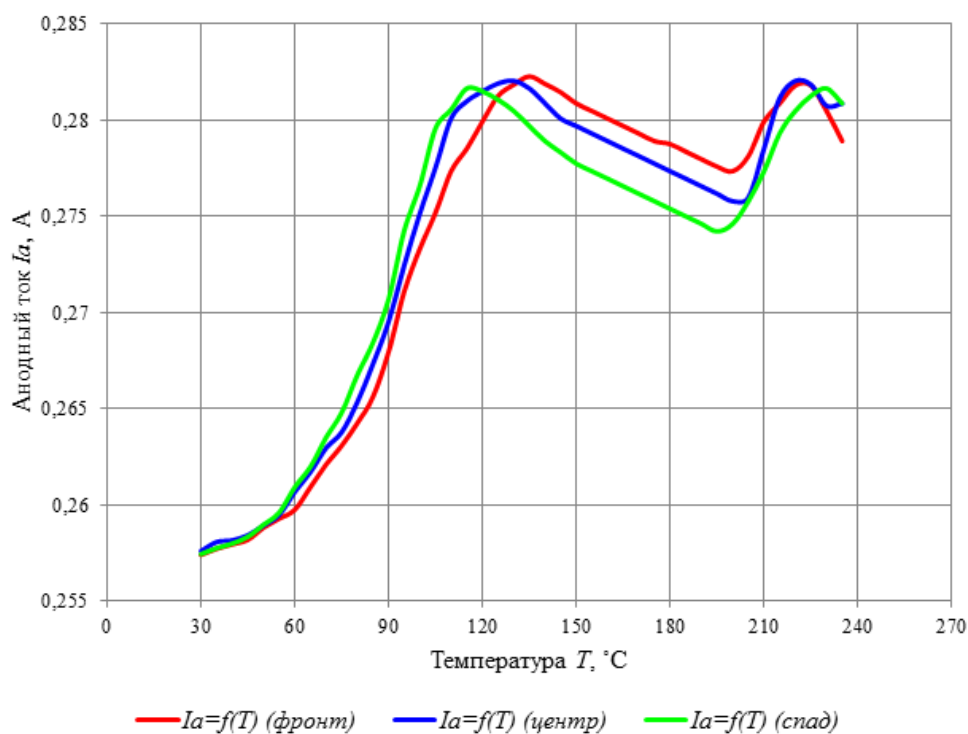


Рис. 5. Зависимости $I_a=f(T)$ по ширине ВЧ-импульса для материала ПА6

Хорошо просматривается состояние первого максимума анодного тока, связанного с сегментальной подвижностью полярных групп.

Также, в рамках настоящего исследования были определены скорости изменения анодного тока от температуры $dI_a = f(dT)$, представленные на рис. 6б, 7б, 8б, методом левой конечной разности первого порядка аппроксимации.

Использование подобных зависимостей позволило организовать контроль соответствия текущего значения I_a экстремумам $tg\delta$ в виде контроля достижения dI_a/dT нулевого значения.

На кривых скорости изменения анодного тока также просматриваются экстремумы. На данном этапе исследования тяжело судить о том, какие структурные изменения произошли в момент теплового перехода, соответствующего экстремумам скорости изменения анодного тока, но, опираясь на литературные источники, можно предположить, что данные переходы относятся к релаксационным переходам, а именно переход из кристаллического состояния в стеклообразное и из стеклообразного в высокоэластичное.

Выводы. На основе проведенных исследований были получены следующие результаты:

3. Разработан алгоритм автоматизированного исследования, реализованный в виде программного обеспечения и автоматизированной системы управления процессом контроля структурных превращений в полимерных материалах.

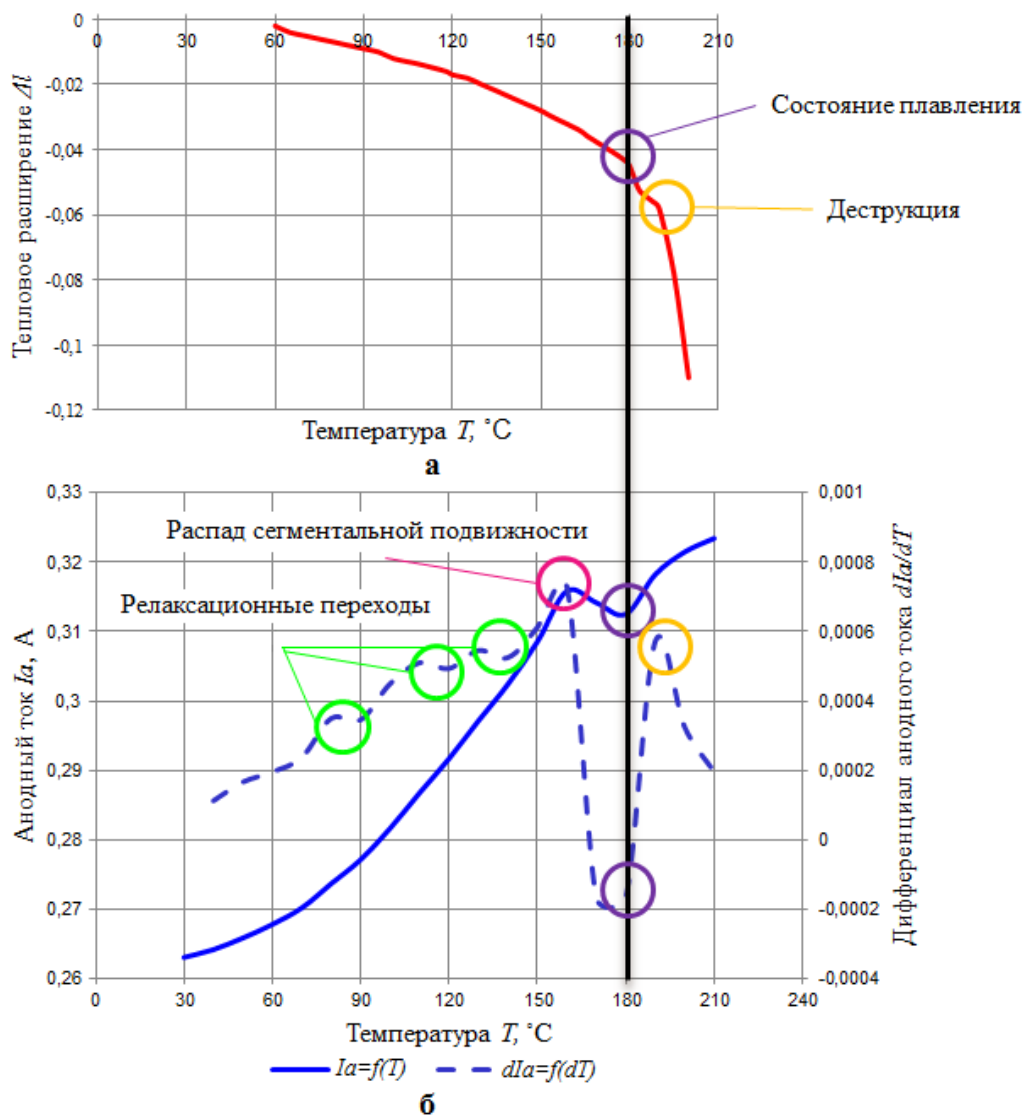


Рис. 6. Зависимости: а – $\Delta l=f(T)$, б – $I_a=f(T)$ и $dI_a=f(dT)$ (материал: ПВХ ОМБ-60)

4. Сформирован комплекс контролируемых и управляемых параметров контроля изделий из полимерных материалов и критерии их оценки.

3. Для полимерных образцов различных геометрических форм и размеров были получены взаимовлияния электрофизических параметров технологической системы с фазовыми и релаксационными превращениями в термопластах.

Все это позволило создать технические и технологические решения организации процесса управления термообработкой полимерных материалов в поле высокой частоты, а созданная, на основе разработанного алгоритма, автоматизированная система управления электротермией позволяет на качественно новом уровне производить технологические процессы сушки, сварки и термоупрочнения изделий из природных, искусственных и синтетических полимерных материалов с бесконтактным определением его нагрева до эффективных температур обработки.

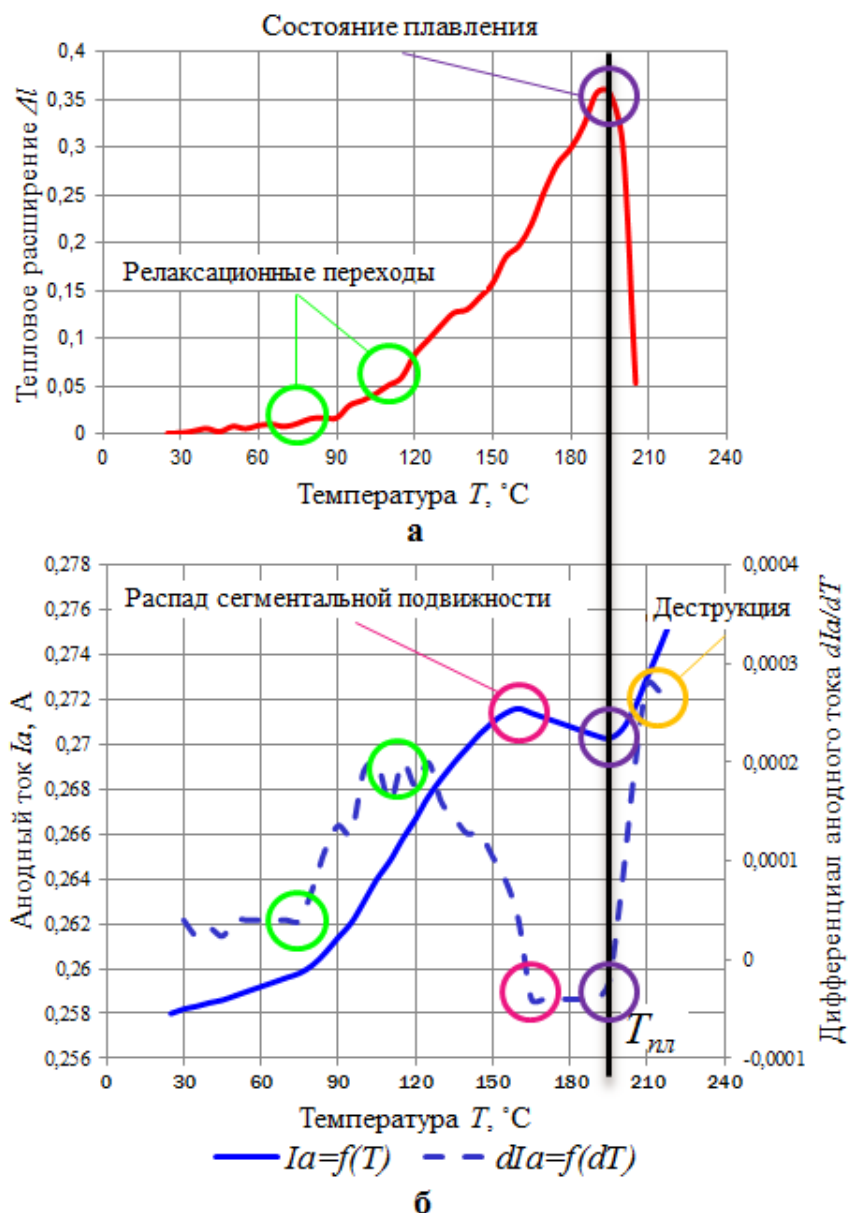


Рис. 7. Зависимости: а – $\Delta l=f(T)$, б – $I_a=f(T)$ и $dI_a=f(dT)$ (материал: Армамид)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еренков, О. Ю. К вопросу о регулировании надмолекулярной структуры полимерных материалов путём термообработки / О. Ю. Еренков, Р. С. Мазин – Режим доступа: http://www.science-bsea.bgita.ru/2011/mashin_2011_1/erenkov_vopros.htm
2. Буторин, Д. В. Разработка методики определения структурных превращений в полимерных материалах / Д. В. Буторин, Н. Г. Филиппенко, С. Н. Филатова, А. В. Лившиц, С. К. Каргапольцев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – Вып. 4(48). – С. 80 – 86.

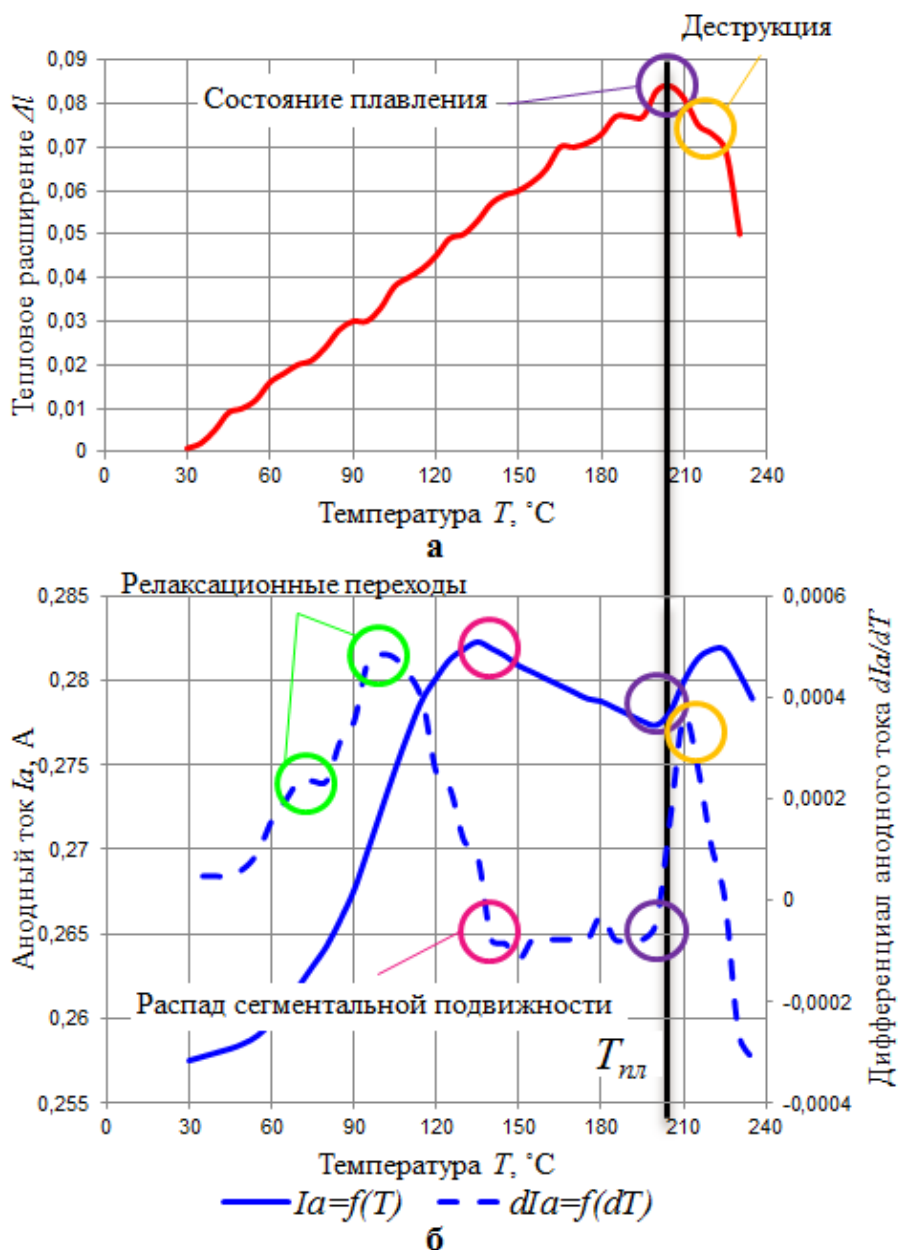


Рис. 8. Зависимости: а – $\Delta l=f(T)$, б – $I_a=f(T)$ и $dI_a=f(dT)$ (материал: полиамид ПА6)

3. Попов, С. И. Автоматизация управления технологическими процессами восстановления эксплуатационных свойств полимеров: дис. ... кан. тех. наук: 05.13.06 / Попов Сергей Иванович. Иркутск, 2013. – 150 с.
4. Филиппенко, Н.Г. Автоматизация управления процессом высокочастотной обработки полимерных материалов: дис. ... кан. тех. наук: 05.13.06 / Филиппенко Николай Григорьевич. Иркутск, 2012. – 161 с.
5. Румынский, С. Н. Автоматизированная система управления процессом сварки изделий из полиамида: дис. ... кан. тех. наук: 05.13.06 / Румынский Сергей Николаевич. СПб., 2005. – 133 с.
7. Ларченко, А. Г. Система автоматизированного управления высокочастотным диагностированием при производстве и эксплуатации изделий из полимерных материалов: дис. ... кан. тех. наук: 05.13.06 / Ларченко Анастасия Геннадьевна. Иркутск, 2014. – 164 с.

8. Филиппенко, Н. Г. Система управления и блок устройства автоматизации высокочастотной обработки полимерных материалов [Электронный ресурс] / Н. Г. Филиппенко, С. К. Каргапольцев, А. В. Лившиц // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2011»: докл. Междунар. конф. – 2011. – Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/transportation-411/maintenance-and-repair-of-transportation-411/11637-411-0277>
9. Лучейкин, Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров – М.: Химия, 1988. – 160 с.
10. Волович, Г. Интегральные датчики Холла [Текст] // Современная электроника – 2004. – Вып. 12. – С.26-31
11. Arduino. Arduino Mega 2560 – Режим доступа: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardMega2560>