

Д.В. Баканин, Н.Г. Филиппенко, В.С. Бычковский, А.С. Курайтис

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

АВТОМАТИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Аннотация. Данная работа посвящена разработке автоматизированной системы управления процессом исследования теплофизических свойств и фазовых превращений в полимерных и композитных материалах. Разработано алгоритмическое обеспечение процессов контроля, измерения и обработки экспериментальных данных, позволяющее автоматизировать управление экспериментом, повысить оперативность и точность измерений, алгоритм автоматизированной системы управления, реализован в виде программного комплекса. Приведены результаты экспериментов, проведённых на автоматизированном устройстве.

Ключевые слова: автоматизированная система управления научных исследований, фазовые превращения, полимеры, композиты, теплофизические свойства.

D.V. Bakanin, N.G. Filippenko, V.S. Bychkovsky, A.S. Kuraitis

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

AUTOMATION DEVICE FOR DETERMINING THERMOPHYSICAL PROPERTIES PHASE TRANSFORMATIONS IN POLYMER AND COMPOSITE MATERIALS

Abstract. This work is devoted to the development of an automated process control system for the study of thermal properties and phase transformations in polymer and composite materials. The algorithmic support of the processes of control, measurement and processing of experimental data, allowing to automate the experiment control, improve the efficiency and accuracy of measurements, the algorithm of the automated control system, implemented in the form of a software package. The results of experiments carried out on an automated device are presented.

Keywords: automated control system for scientific research, phase transformations, polymers, composites, thermophysical properties.

Введение

Современное состояние экономики нашей страны характеризуется ростом объема производства полимерных, строительных и теплозащитных материалов, интенсификацией технологических процессов их производства, получением и внедрением в эксплуатацию новых материалов и готовых изделий.

Широко используются методы переработки высокомолекулярных материалов, как литье под давлением, экструзия, прессование. Все эти технологические процессы на разных стадиях связаны с отводом или подводом тепла. Поэтому теплофизические свойства материала играют важную роль при оптимизации тепловых стадий данных технологических процессов [1].

Вопросам тепловых исследований, тепловому проектированию и особенно экспериментальной отработке тепловых режимов придаётся большое значение, т.к. часто эксперимент становится основным инструментом решения проблемы.

Расширяющееся использование теплофизических расчётов в различных отраслях промышленности и научных исследованиях делает актуальной проблему разработки скоростных методов измерения теплофизических характеристик изучаемых сред, создание простой измерительной техники [1].

Важнейшей задачей технического прогресса является автоматизация научных исследований, которая позволит значительно увеличить производительность труда исследователей,

сократить время проведения экспериментов и обработки полученной экспериментальной информации, повысить надёжность и качество получаемых результатов.

Анализ экспериментального устройства

Автоматизированная система проведения экспериментов осуществлялась на базе экспериментального устройства для исследования теплофизических свойств полимеров и композитных материалов, разработанного на кафедре «Автоматизация производственных процессов» ИрГУПС. Трёхмерная модель и эскиз устройства представлены на рис. 1, 2.

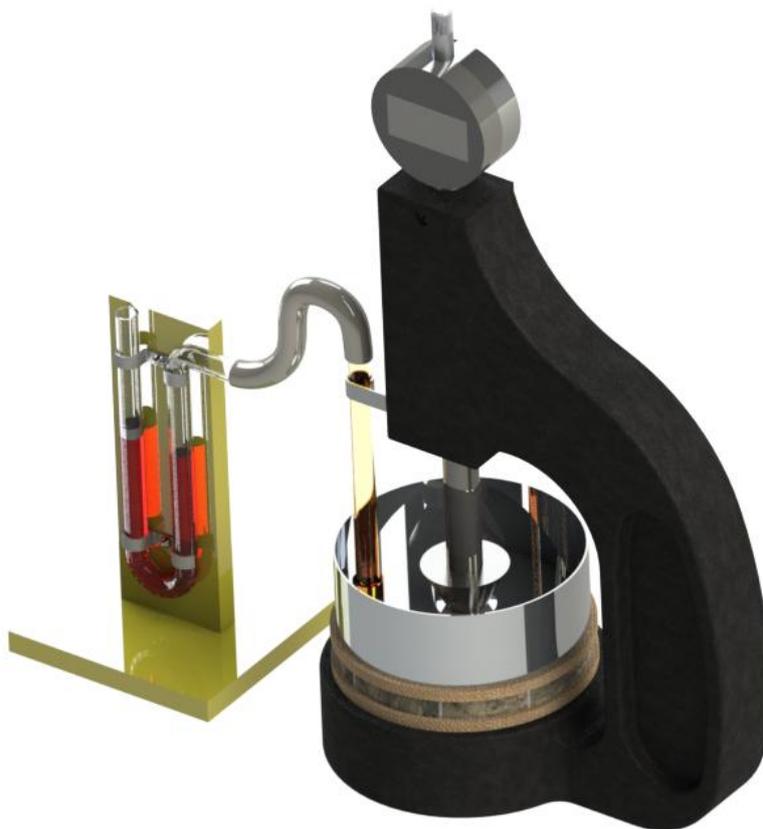


Рис. 1. Экспериментальное устройство для исследования теплофизических свойств полимерных и композитных материалов

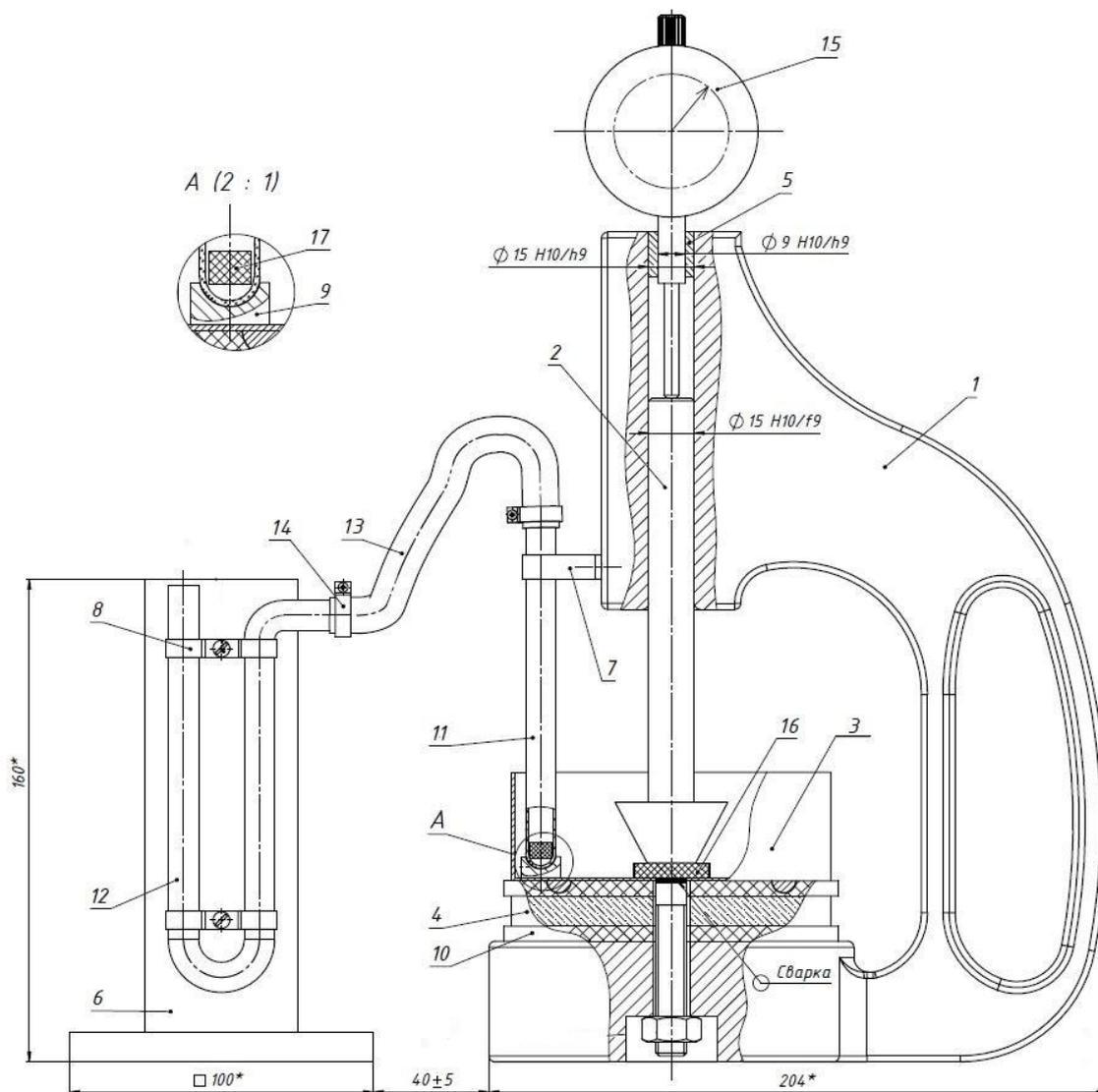
Принцип работы устройства заключается в следующем. После укладки специально подготовленного полимерного или композитного образца 16 на нагревательный элемент установленного на основание 1, сверху на поверхность опытного образца 16 опускается штوك 2. Индикаторный микрометр 15 электронного типа, соединённый индентором со штоком 2, устанавливается на нулевое положение. Одновременно изготовленный из полимерного или композитного материала второй опытный образец 17 укладывается в колбу 11.

Колба 11 в свою очередь устанавливается на термopодставку 9, в нее укладывается термопаста для плотного контакта основания колбы с термopодставкой, для лучшей передачи тепла на образец 17, расположенный в колбе 11. Соединение колбы 11 с жидкостным манометром 12 осуществляется термостойкой силиконовой трубкой 13.

В жидкостной манометр налит разведённый индикатор (метилловый оранжевый), шкала расплoжённая на стенке манометра позволяет фиксировать перепады уровня жидкости. Также необходимо отметить, что второй конец манометра 12 сообщается с атмосферой.

После проведённых дополнительных работ включается нагревательный элемент 3, который обеспечивает нагрев образца 16 установленного под штоком 2 и образца 17 установленного в колбе 11.

Температурные расширения опытного образца, через шток 2 будут оказывать воздействие на индентор микрометра 15 и выдавать данные по линейному тепловому расширению.



1 - основание; 2 - шток; 3 - нагревательный элемент; 4 - плита теплоизоляционная; 5 - втулка; 6 - стойка; 7 - крепеж; 8 - планка крепежная; 9 - термopодставка; 10 - базальт. вата; 11 - колба; 12 - манометр; 13 - трубка силиконовая; 14 - хомут; 15 - микрометр индикаторный; 16 - опытный образец 1; 17 - опытный образец 2

Рис. 2. Эскиз экспериментальной установки

Нагрев в колбе 11 регистрирует манометр 12 по изменению уровня жидкости, т.е. изменению давления в колбе, динамика изменения уровня жидкости будет заметна увеличена при деструкции материала в колбе, когда из него будет выделяться большое количество газа. При чем в колбе может располагаться индикатор лакмусовая бумага, которая позволит определить щелочной или кислотный состав выделенного газа из полимерного или композитного материала.

Таким образом представленная выше на рисунке экспериментальная установка позволяет исследовать одновременно два опытных образца: один на теплофизические свойства (температура плавления, тепловое расширение), другой испытывается методом термодеструкции (термостойкость, интенсивность теплового фазового изменения).

Анализ экспериментальной установки определил, что необходимо:

- а) автоматизировать процесс линейного равномерного нагрева опытного образца;
- б) обеспечить объективность и точность измерения линейного теплового расширения нагреваемого образца;
- в) контролировать в реальном времени динамику выделения газа при терморазложении полимера, путем измерения уровня жидкости в манометре.
- г) определение оптической плотности выделившегося газа и индикатора при деструкции опытного образца.

По результатам проведённого анализа, был сделан вывод, что на данном оборудовании возможна реализация автоматизированной системы контроля выше указанных параметров.

Автоматизация устройства

Первая из подзадач при разработке АСУ процессом исследования заключалась в организации линейного (с постоянной скоростью) равномерного разогрева опытных образцов.

Наибольшее распространение, на сегодняшний день, получили следующие основные законы регулирования систем: позиционный, пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-дифференциальный (ПД) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД).

Наиболее простой закон регулирования температуры – позиционный. При этом методе на нагреватель подается полная мощность до достижения заданного значения температуры, после чего подача мощности прекращается. Несмотря на это, разогретый нагреватель продолжает отдавать тепло и температура объекта какое-то время продолжает нарастать, что приводит к перегреву, иногда значительному. При последующем остывании объекта, по достижении заданного значения температуры, на нагреватель вновь подается полная мощность. Нагреватель сначала разогревает себя, затем окружающие области объекта, и, таким образом, охлаждение будет продолжаться до тех пор, пока волна тепла не достигнет датчика температуры. Следовательно, реальная температура может оказаться значительно ниже заданного значения. Таким образом, при позиционном законе регулирования возможны значительные колебания температуры около заданного значения [1].

Этот недостаток можно уменьшить или даже вовсе устранить, применяя пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования (ПИД-закон).

ПИД-закон предполагает уменьшение мощности, подаваемой на нагреватель, по мере приближения температуры объекта к заданной температуре. закон регулирования обеспечивает значительно более высокую точность поддержания температуры, чем позиционный. Мощность N , которая должна выделяться нагревателем, выраженная в процентах от его максимальной мощности, рассчитывается по формуле (1):

$$N = \frac{1000}{K_p} \times \left(\Delta T + \frac{1}{K_i} \times \int_0^t \Delta T \times dt - K_d \times \frac{dT}{dt} \right), \quad (1)$$

где K_p , K_i , K_d – пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты регулирования соответственно (ПИД коэффициенты);

ΔT – ошибка в значении стабилизируемой величины.

Пропорциональная составляющая стремится устранить непосредственную ошибку в значении стабилизируемой величины (2), наблюдаемую в данный момент времени [2].

$$\Delta T = T_{yc} - T, \quad (2)$$

где T_{yc} – уставочная температура (уставка);

T – реальная температура.

Его смысл состоит в том, что при ошибке $\Delta T = K_p$ (в °С) регулятор начнет снижать мощность.

При использовании только пропорционального регулятора значение регулируемой величины никогда не устанавливается на заданном значении.

Существует так называемая статическая ошибка, которая равна такому отклонению регулируемой величины, которое обеспечивает выходной сигнал, стабилизирующий выходную величину именно на этом значении. Например, в регуляторе температуры выходной сигнал, регулирующий мощность нагревателя, постепенно уменьшается при приближении температуры к уставке [2].

Система стабилизируется на определённом значении, при котором мощность нагревателя равна тепловым потерям. При этом температура не может достичь уставки, так как в этом случае мощность нагревателя станет равной нулю, и он начнёт остывать, а вместе с этим будет

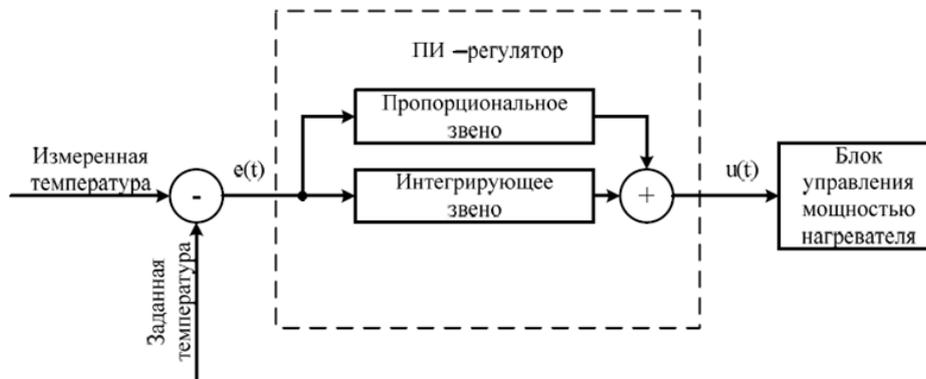
падать и температура. По мере увеличения коэффициента пропорциональности (усиления) уменьшается статическая ошибка, однако слишком большой коэффициент усиления может стать причиной автоколебаний, а при дальнейшем увеличении коэффициента система может потерять устойчивость и пойти «в разнос».

Для устранения статической ошибки вводится интегральная составляющая. Она позволяет регулятору «учиться» на предыдущем опыте. Если система не испытывает внешних возмущений, то через некоторое время регулируемая величина стабилизируется на заданном значении. При стабилизации пропорциональная составляющая будет равна нулю, а выходной сигнал будет полностью обеспечиваться интегральной составляющей. При постоянном значении рассогласования интегральная составляющая представляет линейно увеличивающуюся со временем величину. Физически интегральная составляющая представляет задержку реакции регулятора на изменение величины рассогласования, внося в систему некоторую инерционность, что может быть полезно для управления объектами с большой чувствительностью [2].

Дифференциальная составляющая противодействует предполагаемым отклонениям регулируемой величины, как бы предугадывая поведение объекта в будущем. Эти отклонения могут быть спровоцированы внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему. Чем быстрее регулируемая величина отклоняется от уставки, тем сильнее противодействие, создаваемое дифференциальной составляющей. Когда рассогласование становится постоянной величиной, дифференциальная составляющая перестаёт оказывать воздействие на сигнал управления [2].

При испытании ПИД-регулятора в нашей системе нагрева, дифференциальная составляющая вызывала неустойчивость системы управления.

Для реализации линейного равномерного нагрева полимерных образцов был экспериментально подобран ПИ-закон регулирования, полностью удовлетворяющий условию решаемой задачи. Схема ПИ-регулирования представлена на рис. 3.



$e(t)$ – сигнал рассогласования, ошибка управления; $u(t)$ – регулирующее воздействие

Рис. 3. Схема ПИ-регулирования

Процесс настройки ПИ-регулятора состоит в основном из задания установочной температуры (уставки) и значений ПИ-коэффициентов.

Предварительный подбор коэффициентов осуществлялся в имитационной среде Matlab/Simulink, в которой была построена математическая модель системы управления с ПИ-регулятором.

Основной задачей автоматизации является обеспечение равномерного нагрева с постоянной скоростью. Для решения данной задачи была выведена функция управления нагревом, которая устанавливает зависимость заданной температуры (уставки) T_{yc} от времени t по формуле (3):

$$T_{yc} = \frac{t}{12}, \quad (3)$$

где t – время нагрева.

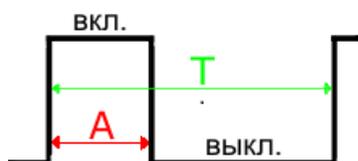
Указанная зависимость (3) обеспечивает постоянную скорость нагрева $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Данная скорость обеспечивает равномерный нагрев опытного образца, а также интенсивное выделение газа при его деструкции.

Регулирующее воздействие ПИ-регулятора управляет шириной (длительности) импульса ШИМ, управляющий в свою очередь твердотельным реле, которое коммутирует нагрузку нагревательного элемента.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ, англ. pulse-width modulation (PWM) – это процесс управления мощностью, подводимой к нагрузке, путём изменения скважности импульсов, при постоянной частоте.

Импульсный сигнал постоянной частоты и переменной скважности (отношение длительности импульса к периоду его следования). С помощью задания ширины импульса можно менять среднее напряжение на выходе ШИМ.

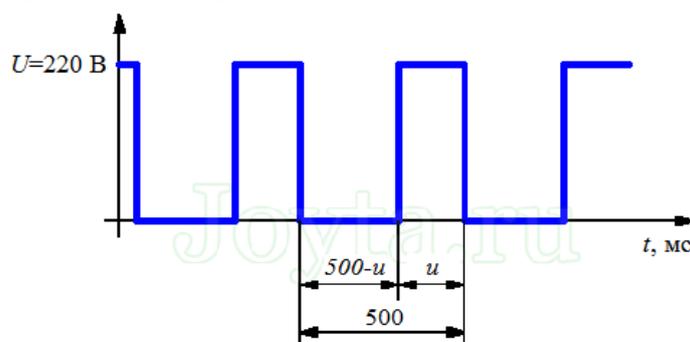
При широтно-импульсной модуляции в качестве несущего колебания используется периодическая последовательность прямоугольных импульсов, а информационным параметром, связанным с дискретным модулирующим сигналом, является длительность этих импульсов. Принцип работы ШИМ предоставлен на рис. 4.



A – ширина импульса; T – период ШИМ; T/A – скважность ШИМ;
 A/T – величина ШИМ (коэффициент заполнения)

Рис. 4. Общий вид ШИМ-сигнала

ШИМ разработанной системы равномерного нагрева изображен на рис. 5, период ШИМ, равный 500 мс , был определен экспериментально.



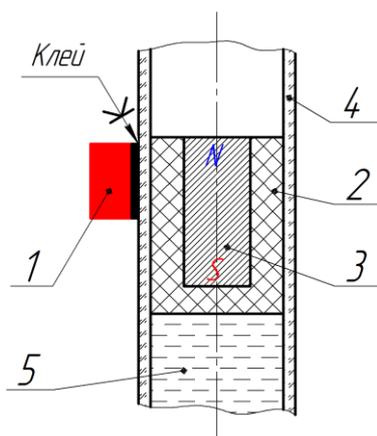
u – регулирующее воздействие ПИ-регулятора

Рис. 5. ШИМ управление нагревательного элемента

Для контроля динамики выделения газа при терморазложении полимера, необходимо измерять в реальном времени уровень жидкости в манометре. Для этого была разработана конструкция «поплавок», представленная на рис. 6.

Принцип работы конструкции: во внутрь манометра 4 опущен цилиндрический поплавок 2, из материала малой плотности, в который монтирован магнит 3; снаружи к трубке манометра относительно этого поплавка приклеен датчик Холла 1. В результате чего при увеличении уровня жидкости 5 в манометре, поплавок начнет подниматься вверх, изменяя магнитное поля, тем самым воздействуя на датчик Холла.

Для определения оптической плотности выделившегося газа и индикатора при деструкции опытного образца были подобраны датчики измерения оптической плотности. Выходное напряжение данных датчиков пропорционально интенсивности света.



1 – датчик Холла; 2 – поплавок; 3 – магнит; 4 – манометр жидкостный; 5 – жидкость

Рис. 6. Конструкция «поплавок»

Датчик оптической плотности используется для измерения проницаемости света среде. Преимуществом светодиодных источников света является то, что они никогда не будут нагревать исследуемую среду.

Поглощение электромагнитного излучения молекулой газа может привести не только к возбуждению электрона, но также к изменениям колебательной энергии и вращательной энергии. Поглощение ультрафиолетового излучения приводит к изменению электронной энергии молекул. Поглощение инфракрасного излучения приводит к изменениям колебательных и вращательных состояний молекул. Эти эффекты используются в абсорбционной спектроскопии, которая является методом определения химического состава газа, поскольку получаемые спектры поглощения однозначно характеризуют его.

Датчик цвета RGB имеет два основных компонента - трехцветный (RGB) светодиод, который излучает красный, синий и зеленый свет, а также светочувствительный датчик (фоторезистор), который определяет интенсивность падающего на него света.

При выборе датчиков оптической плотности выделившегося газа в стеклянной колбе, было принято во внимание, что стекло колбы пропускает определенные длины волн электромагнитного излучения: ближний свет ультрафиолета – 315...400 нм; ближнее инфракрасное излучение – 0,76...2 мкм.

Так как на экспериментальной установке исследуются образцы разных химических структур полимерных материалов, в связи с универсальностью данной установки для определения оптической плотности газа было принято решение использовать и УФ- и ИК-датчик.

Структурная схема АСУ

Разработанная структурная схема системы автоматизации проведения экспериментов по определению теплофизических свойств и фазовых превращений в полимерных и композитных материалах представлена на рис. 7.

На первом этапе происходит загрузка полимерных образцов в устройство. Микроконтроллер считывает температуру с термопары $t1$ и посылает её на ПИ-регулятор. ПИ-регулятор определяет и выдает регулирующее воздействие через широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), на симисторную силовую схему, которая коммутирует высоковольтную нагрузку нагревательного элемента. Нагреватель греет равномерно с постоянной скоростью. Так же в это время микроконтроллер снимает показания с термопары $t2$ через усилитель, и показания с Датчика Холла H – интенсивность выделения газа при деструкции полимера. Далее данные выводятся на компьютер. Так же на компьютер считываются: значение линейного теплового расширения образца с электронного микрометра L ; показатели оптической плотности выделяемого газа с инфракрасного (ИК) датчика IR и ультрафиолетового (УФ) датчика UV ; показатели оптической плотности жидкости при индикации метилоранжа с цветового датчика RGB .

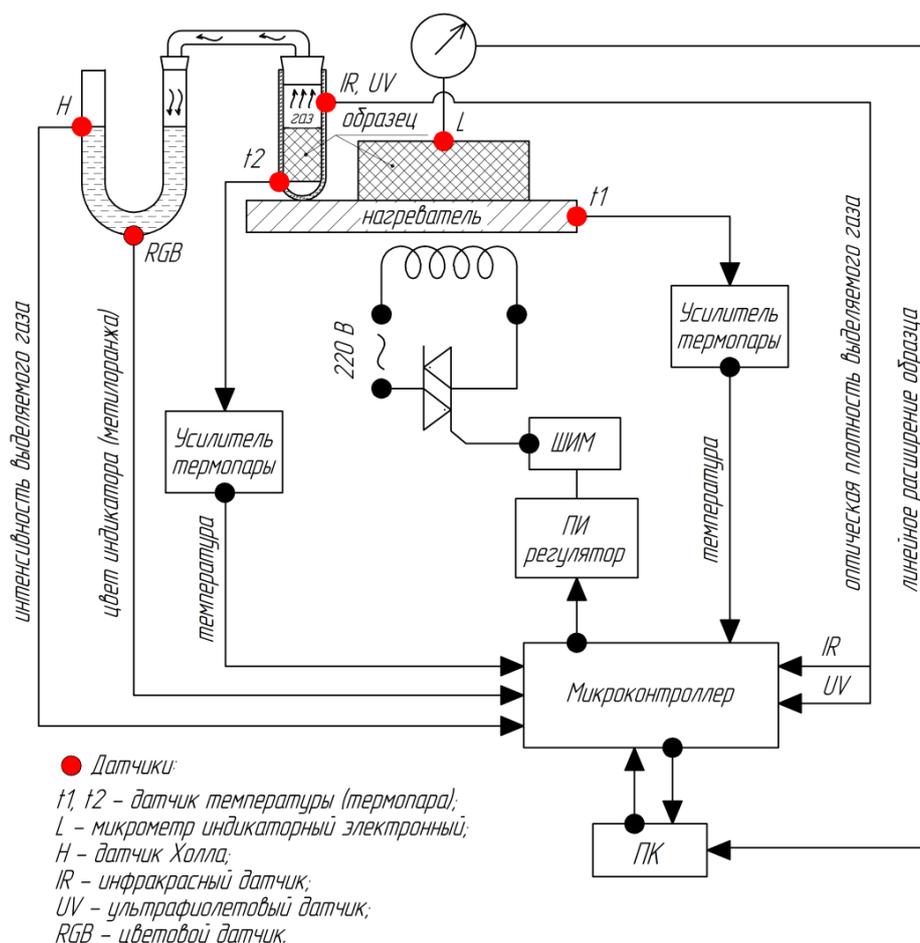


Рис. 7. Структурная схема системы автоматизации

В соответствии с данной структурной схемой автоматизации был выполнен законченный алгоритм автоматизированной системы проведения экспериментов по определению теплофизических свойств и фазовых превращений в полимерных и композитных материалах.

Алгоритм АСУ

Алгоритм управления процессом экспериментальных исследований полимерных материалов по разработанной методике представлен на рис. 8.

Разработанная методика и, соответственно, алгоритм автоматизированной системы управления процессом нагрева полимерных материалов имеет следующие преимущества. Несмотря на значительную тепловую инерционность технологической системы, ПИ-закон регулирования обеспечил линейный (монотонный) нагрев образца. Алгоритм АСУ построен таким образом, что оператор имеет возможность изменять параметры работы системы в зависимости от исследуемого материала, а именно, скорость нагрева ($V_{\text{нагрев}}$) и максимальную температуру нагрева (T_{max}). В соответствии с представленным алгоритмом был разработан программный модуль.

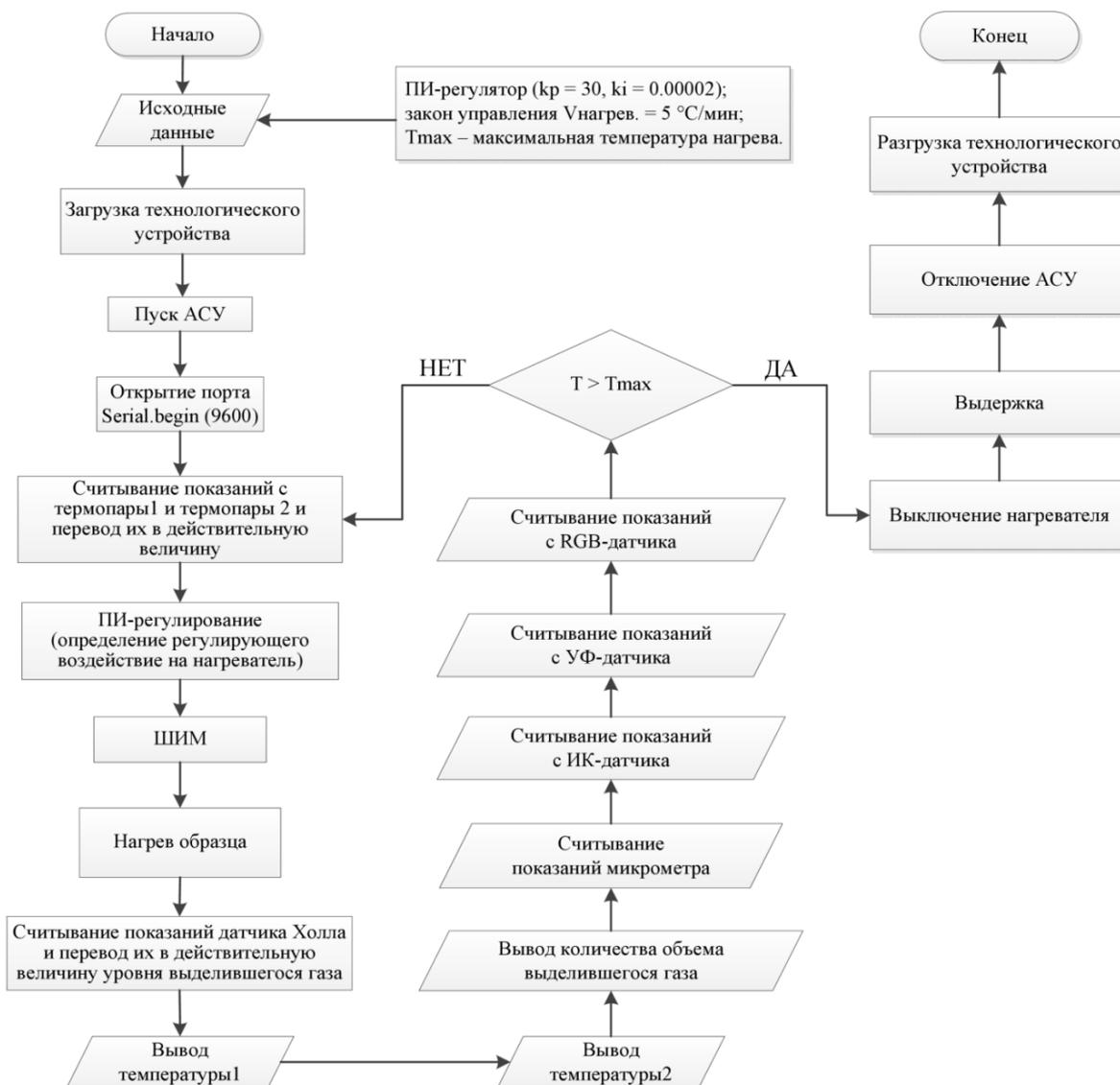


Рис. 8. Алгоритм работы автоматизированного устройства

Разработанное алгоритмическое обеспечение процессов измерения и обработки экспериментальных данных, позволило автоматизировать управление экспериментом, повысить оперативность и точность измерений.

Исследование на автоматизированном устройстве

С использованием автоматизированного устройства проводились исследования по изучению влияния температуры на теплофизические характеристики полимерных и композитных материалов, находящихся в твёрдом агрегатном состоянии. Результаты исследования полимерного композитного материала «Арзамид» приведены в виде графика на рис. 9.

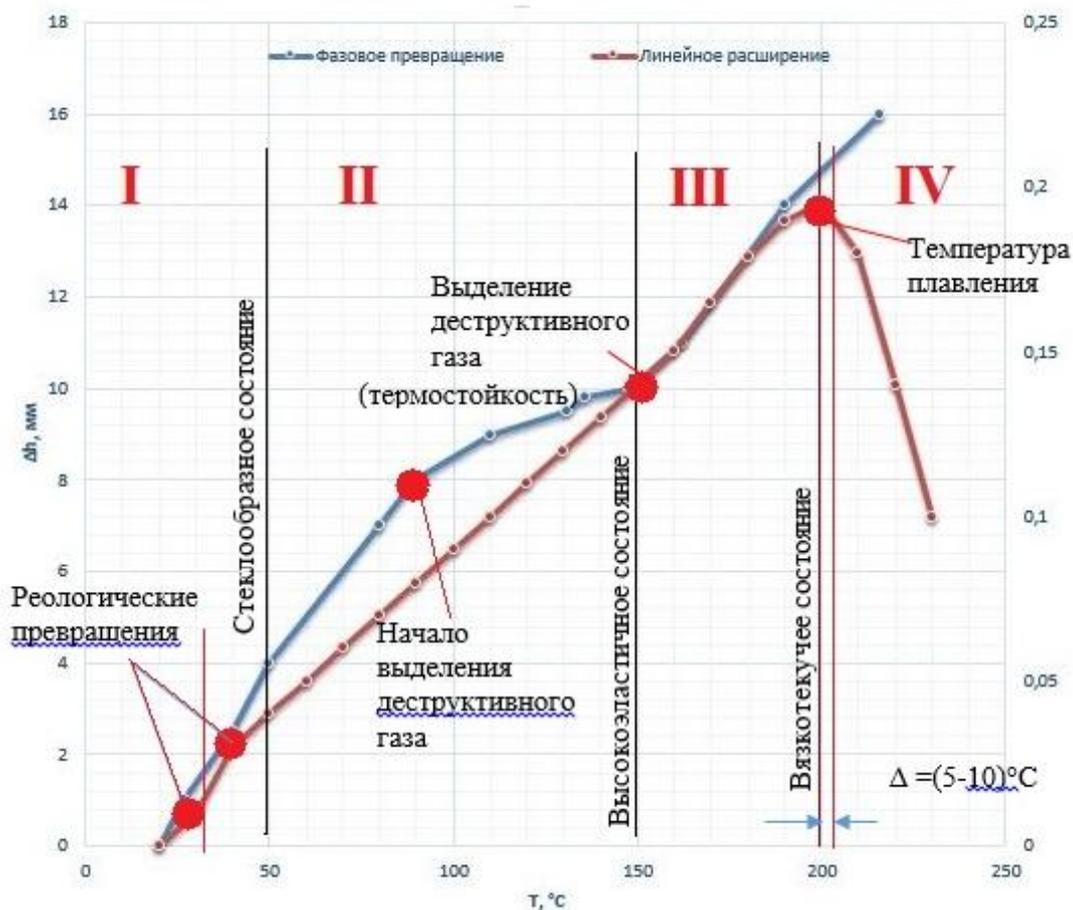


Рис. 9. График линейного расширения и фазового превращения полимера Армамид

Полимеры в зависимости от температуры могут находиться в трех состояниях, отличающихся характером теплового движения: стеклообразном, высокоэластическом и вязкотекучем. С каждым из физических состояний связан определённый комплекс свойств, и каждому состоянию отвечает своя область технического и технологического применения.

На графике видно, температура перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое составляет 50°C , а температура перехода из высокоэластического состояния в вязкотекучее происходит при температуре текучести 160°C .

Заключение

В ходе настоящей работы были выполнены следующие задачи:

- исследовано существующее оборудование на предмет его автоматизации;
- выбран закон регулирования и управляющая функция нагрева опытных образцов с постоянной скоростью;
- обоснование и выбор способов измерения, существующих методов и методик измерений, существующих датчиков измерений необходимых параметров;
- разработано алгоритмическое обеспечение процессов контроля, измерения и обработки экспериментальных данных, позволяющее автоматизировать управление экспериментом, повысить оперативность и точность измерений, алгоритм автоматизированной системы управления, реализован в виде программного комплекса.

В результате решенных задач была создана и апробирована автоматизированная система проведения экспериментов по исследованию теплофизических свойств и фазовых превращений в полимерных и композитных материалах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пивень, А. Н. Теплофизические свойства полимерных материалов : справочник / А. Н. Пивень, Н. А. Гречаная, И. И. Чернобыльский. – Киев : Издательское объединение «Вища школа», 1976. – 180 с.
2. Термодат. ПИД-закон регулирования. Методы нахождения ПИД коэффициентов – Режим доступа: <http://www.termodat.ru/pdf/pid.pdf>.
3. Липа, О. А. Использование регуляторов непрямого действия для управления процессами поддержания параметров микроклимата в условиях статической неопределённости [Текст] – Режим доступа: http://edu.rgazu.ru/file.php/1/vestnik_rgazu/data/20140519155047/013.pdf.
4. Слепнева, Л. М. Физикохимия полимеров [Текст]: Электронный учебно-методический комплекс / Л. М. Слепнева. – Минск: 2014. – 129 с.
5. Крыжановский, В. К. Технические свойства полимерных материалов [Текст]: Учебно-справочное пособие / В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко. – СПб: Профессия, 2003. – 240 с.
6. 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. – Иркутск: ИрГУПС, 2015. – Вып. 4(48) – С. 80-86.
7. Буторин, Д. В. Автоматизация контроля структурных превращений в полимерных материалах при электротермической обработке / Д. В. Буторин, Н. Г. Филиппенко, С. Н. Филатова, А. В. Лившиц, С. К. Каргапольцев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: ИрГУПС, 2016. – Вып. 1(49) – С. 117-125.
8. Буторин, Д. В. Автоматизация процесса контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах / Д. В. Буторин, Н. Г. Филиппенко, А. В. Лившиц // Информационные системы и технологии. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017. - №1 (99). – С. 44-53.
9. Волович, Г. Интегральные датчики Холла [Текст] // Современная электроника – 2004. – Вып. 12. – С.26-31.
10. Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. - Л.: Энергия, 1973. - 143с.
11. Безрукова Е.Н., Сергеев О.А., Татарашвили Д.А. Влияние потерь тепла по термопаре при измерении температуры в твердых телах // Тр.ин-тов Комитета стандартов. -Л.: Стандарты, 1971.- Вып. 129(189). - С. 187 - 192.
12. Гордов А.Н., Пеллинец В.С., Синельников А.Е. О методике определения погрешностей результата измерений // Тр. метрол. ин-тов СССР. ВНИИ-ме-фол. - 1972, вып.130(190) - С. 102 - 109.

REFERENCES

1. Piven' A.N., Grechanaja N.A., Chernobyl'skij I.I. Teplofizicheskie svojstva polimernyh materialov: spravochnik [Thermophysical properties of polymeric materials: directory]. *Izdatel'skoe ob#edinenie «Vishha shkola» [Publishing association «Vishcha school»]*. Kiev, 1976, 180 p.
2. Termodatchiki. PID-zakon regulirovaniya. Metody nahozhdeniya PID kojefficientov [Thermal sensors. PID-regulation law. Methods for finding PID coefficients]. Rezhim dostupa: <http://www.termodat.ru/pdf/pid.pdf>.
3. Lipa O.A. Ispol'zovanie reguljatorov neprjamoogo dejstvija dlja upravlenija processami podderzhanija parametrov mikroklimate v uslovijah staticheskoj neopredel'jonnosti [The use of indirect controllers to control the maintenance of microclimate parameters under conditions of static uncertainty]. Rezhim dostupa: http://edu.rgazu.ru/file.php/1/vestnik_rgazu/data/20140519155047/013.pdf.

4. Slepneva L.M. Fizikohimija polimerov [Physicochemistry of polymers]. JElektronnyj uchebno-metodicheskiy kompleks [Electronic educational-methodical complex]. Minsk, 2014, 129 p.

5. Kryzhanovskij V.K., Burlov V.V., Panimatchenko A.D. Tehnicheskie svojstva polimernyh materialov: Uchebno-spravochnoe posobie [Technical properties of polymeric materials: Teaching aid]. Sankt-Peterburg: Professija [Profession], 2003, 240 p.

6. Butorin D.V., Filippenko N.G., Filatova S.N., Livshic A.V., Kargapol'cev S.K. Razrabotka metodiki opredelenija strukturnyh prevrashhenij v polimernyh materialah [Development of a technique for determining structural transformations in polymeric materials]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, Irkutsk: IrGUPS, 2015, No. 4 (48), pp. 80-86.

7. Butorin D.V., Filippenko N.G., Filatova S.N., Livshic A.V., Kargapol'cev S.K. Avtomatizacija kontrolja strukturnyh prevrashhenij v polimernyh materialah pri jelektrotermicheskoj obrabotke [Automation of control of structural transformations in polymeric materials during electrothermal treatment]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. [Modern technologies. System analysis. Modeling]*, Irkutsk: IrGUPS, 2016, No. 1 (49), pp. 117-125.

8. Butorin D.V., Filippenko N.G., Livshic A.V. Avtomatizacija processa kontrolja fazovyh i relaksacionnyh prevrashhenij v polimernyh materialah [Automation of the process of control of phase and relaxation transformations in polymeric materials]. *Informacionnye sistemy i tehnologii [Information systems and technologies]*. Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva [OSU named after I.S. Turgenev], 2017, No. 1 (99), pp. 44-53.

9. Volovich G.M. Integral'nye datchiki Holla [Integral Hall Sensors]. *Sovremennaja jelektronika [Modern electronics]*, 2004, No. 12, pp. 26-31.

10. Platunov E.S. Teplofizicheskie izmerenija v monotonnom rezhime [Thermophysical measurements in monotone mode]. *JEnergija [Energy]*, 1973, 143 p.

11. Bezrukova E.N., Sergeev O.A., Tatarashvili D.A. Vlijanie poter' tepla po termopare pri izmerenii temperatury v tverdyh telah [Effect of heat loss on a thermocouple when measuring temperature in solids]. *Standarty [Standards]*, 1971, No. 129 (189), pp. 187-192.

12. Gordov A.N., Pellinec V.S., Sinel'nikov A.E. O metodike opredelenija pogreshnostej rezul'tata izmerenij [On the procedure for determining the errors in the result of measurements]. *Tr. metrol. in-tov SSSR. VNII-me-foI*, 1972, No. 130 (190), pp. 102-109.

Информация об авторах

Баканин Денис Викторович - аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, инженер-конструктор, АО «Иркутский релейный завод», г. Иркутск, e-mail: denis.bakan@mail.ru

Филиппенко Николай Григорьевич - к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pentagon@mail.ru

Бычковский Владимир Сергеевич - аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, инженер-конструктор, АО «Иркутский релейный завод», г. Иркутск, e-mail: bikovskii_vs@mail.ru

Курайтис Алексей Сергеевич - аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kuraitis.aleksei@mail.ru

Authors

Denis Viktorovich Bakanin – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Design Engineer, Irkutsk Relay Plant JSC, Irkutsk, e-mail: denis.bakan@mail.ru

Nikolay Grigoryevich Filippenko – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pentagon@mail.ru

Vladimir Sergeevich Bychkovsky – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Design Engineer, Irkutsk Relay Plant JSC, Irkutsk, e-mail: bikovskii_vs@mail.ru

Aleksei Sergeevich Kuraitis – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kuraitis.aleksei@mail.ru

Для цитирования

Баканин Д.В. Автоматизация устройства по определению теплофизических свойств и фазовых превращений в полимерных и композитных материалах [Электронный ресурс] / Д.В. Баканин, Н.Г. Филиппенко, В.С. Бычковский, А.С. Курайтис // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2018. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/11-2018>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 13.09.2018)

For citation

Bakanin D.V., Filippenko N.G., Bychkovsky V.S., Kuraitis A.S. *Automation device for determining thermophysical properties phase transformations in polymer and composite materials*. Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 1. [Accessed 13/09/18]