

УДК 533.6.011.32

Д.Н. Кузнецов¹ (канд. техн. наук, доц.),
Н.Н. Чернышев² (канд. техн. наук, доц.), К.Д. Пометун²
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
1) кафедра электронной техники
2) кафедра автоматизации и телекоммуникаций
E-mail: kuzen2000@rambler.ru

КОМБИНИРОВАННЫЙ РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМОСТАТА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРМОПАР

Предложены алгоритм работы и методика настройки комбинированного регулятора температуры термостата, обеспечивающего существенное сокращение времени установления температуры в сравнении с классическим ПИД-регулятором.

Ключевые слова: термостат, комбинированный регулятор, методика настройки, повышение быстродействия.

Общая постановка проблемы

Автоматические методы управления, использующие современные принципы регулирования, основаны на достоверном знании статических и динамических характеристик элементов системы. Одним из наиболее широко распространенных методов измерения температуры является термоэлектрический метод, основанный на эффекте Зеебека. Однако в нормативной документации и литературе вопросы, относящиеся к динамическим характеристикам термоэлектрических измерительных преобразователей (термопар), изложены не достаточно полно. В этой связи на кафедре «Электронная техника» ДонНТУ совместно со специалистами СКТБ «Турбулентность» ДонНУ был разработан исследовательский стенд для определения характеристик термопар, обеспечивающий возможность экспериментального определения как статических так и динамических характеристик различных типов термоэлектрических преобразователей. В качестве прототипа при разработке использована система определения статических и динамических характеристик датчиков температуры, спроектированная в Новосибирском НГТУ [1].

В настоящее время изготовлены несколько экземпляров стенда, которые внедрены в учебный процесс и используются при выполнении ряда лабораторных работ по дисциплинам, связанным с метрологическим обеспечением и техническими измерениями. При этом критическим является продолжительность экспериментальных исследований. Студенты за время одного занятия должны успеть выполнить измерения, обработать результаты и оформить отчет о проделанной работе. Таким образом, актуальной задачей является повышение быстродействия измерений. Для этого необходимо в первую очередь сократить время установления требуемой температуры термостата, входящего в состав стенда.

Целью работы является разработка простого в реализации и настройке регулятора температуры термостата, обеспечивающего сокращение времени установления температуры. Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены следующие **основные задачи:**

- исследовать возможности ПИД-регулятора температуры термостата;
- разработать алгоритм работы и методику настройки предлагаемого комбинированного регулятора;

© Кузнецов Д.Н., Чернышев Н.Н., Пометун К.Д., 2013

- выполнить исследование и оценку характеристик комбинированного регулятора.

Исследование ПИД-регулятора

Термостат является частью электронной системы стенда для исследований термопар (см. рис.1) и используется для их статической градуировки. В качестве рабочего органа термостата используется трубчатый керамический резистор с допустимой мощностью рассеяния 10 Вт. С противоположных сторон в отверстие резистора помещаются измерительный спай исследуемой термопары и образцовый интегральный датчик температуры типа DS18B20. Термостат работает следующим образом. Необходимое значение температуры $T_{уст}$ устанавливается при помощи компьютера ПК и сохраняется в микроконтроллере термостата МК2. Микроконтроллер МК2 циклически измеряет действительное значение температуры в термостате T_{δ} посредством образцового датчика температуры, определяет ошибку регулирования $dT = T_{\delta} - T_{уст}$ и, реализуя заданный закон регулирования, управляет подводимой к резистору электрической мощностью, стремясь обеспечить равенство $T_{\delta} = T_{уст}$.

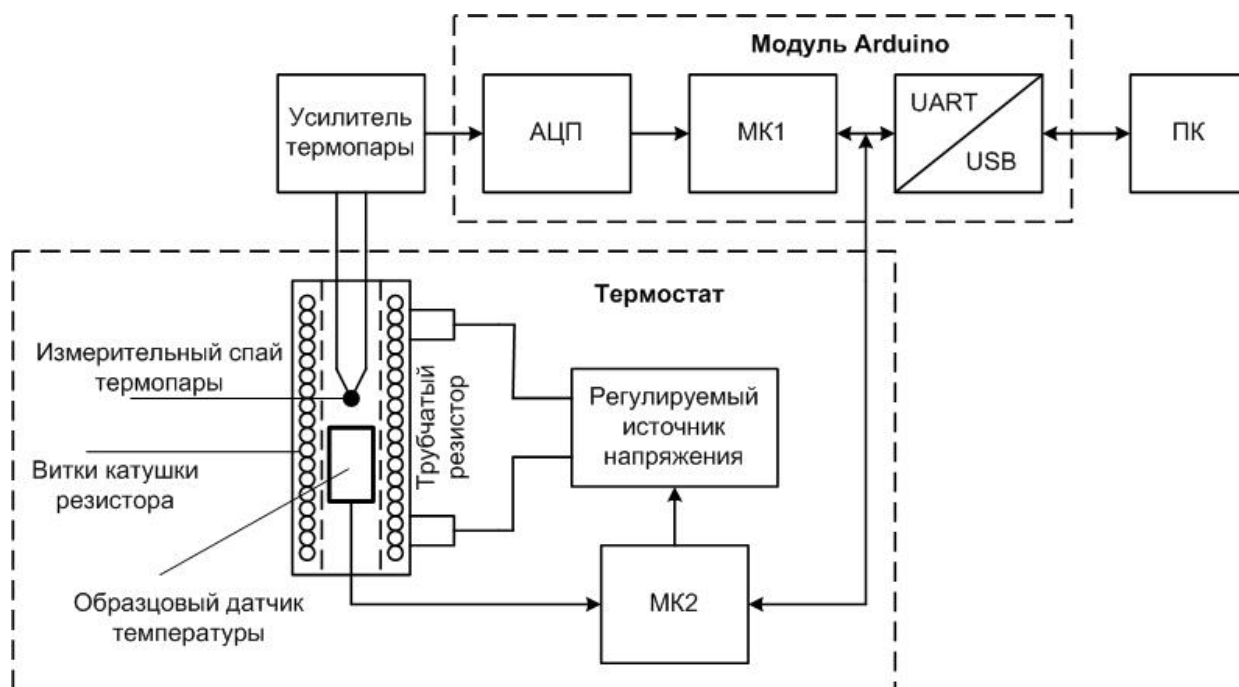


Рисунок 1 – Функциональная схема электронной системы стенда для исследований термопар

Использование микроконтроллера в схеме термостата позволяет реализовывать различные типы регуляторов, изменяя при этом лишь программный код. В качестве исходного, был реализован и исследован классический дискретный ПИД-регулятор

$$u(k) = K_n \left[e(t) + \frac{1}{T_u} \sum_{i=1}^k e(t) T_k + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_k} \right], \quad (1)$$

где $k=1,2,3\dots$ – номер периода квантования; T_k – период квантования.

Коэффициенты K_n , T_u и T_d были определены экспериментально по методу незатухающих колебаний Никольса-Циглера. При этом получено: $K_n=60$, $T_u=37$ с и $T_d=9$ с. На рисунке 2 приведен вид экспериментальной кривой изменения температуры термостата при использовании ПИД-регулятора с найденными выше коэффициентами. Из результатов следует, что уровень перерегулирования достигает 2°C , а время установления температуры при допустимом отклонении $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ составляет около 4 минут.

Для более тонкой настройки ПИД-регулятора с использованием средств вычислительной техники проведена параметрическая идентификация математической модели термостата методом площадей (Симою) на основании экспериментально снятой кривой разгона

при входном воздействии в виде скачка [2]. В общем случае модель объекта можно описать передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{k}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + 1} \quad (2)$$

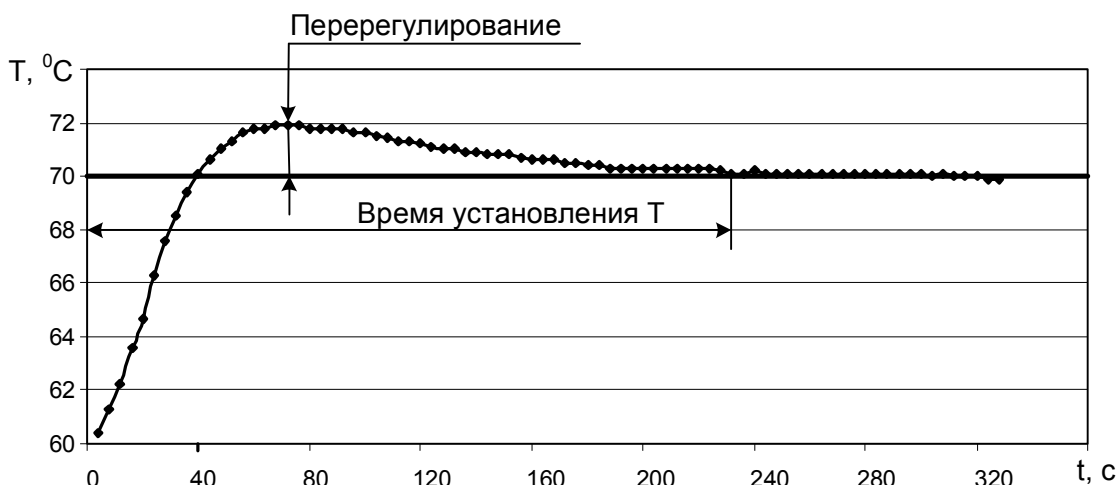


Рисунок 2 – Кривая изменения температуры термостата с ПИД-регулятором

В результате решения задачи идентификации получена модель термостата в форме передаточной функции с коэффициентами

$$W_{\text{термостат}}^{\text{идент}}(s) = \frac{9,026}{1479s^2 + 345,4s + 1} \quad (3)$$

На рисунке 3 представлена снятая кривая разгона и переходная характеристика, полученная по динамической модели термостата.

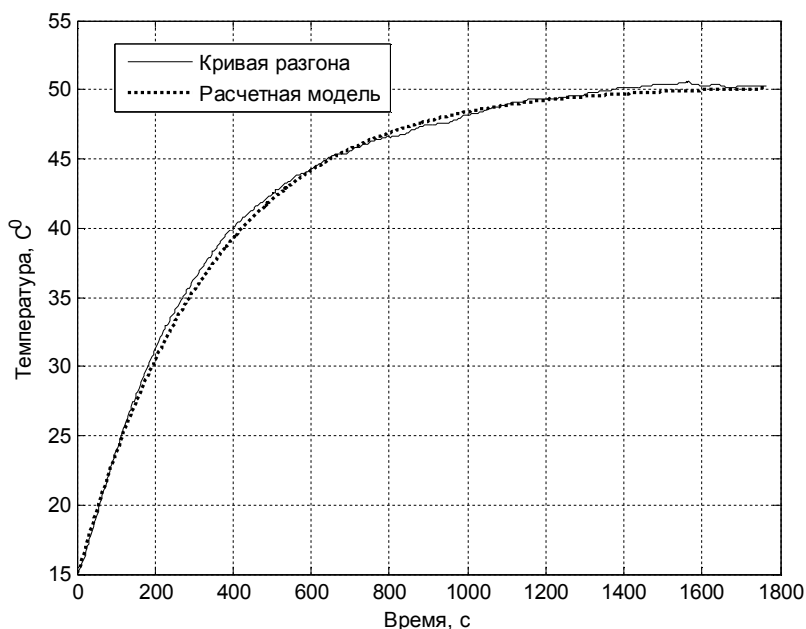


Рисунок 3 – Снятая кривая разгона и переходная характеристика расчетной модели

Из результатов экспериментальных исследований и моделирования следует, что кривые практически совпадают, а относительное среднеквадратическое отклонение по расчетной модели от реальных данных измерений порядка 0,4 %. Это подтверждает адекватность предложенной математической модели термостата экспериментальным данным

Полученная модель была исследована с целью оптимизации регулятора по быстродействию, при заданном допустимом отклонении температуры в $0,2^{\circ}\text{C}$ в интерактивной программе для моделирования, имитации и анализа динамических систем MATLAB&SIMULINK. В результате выполненных исследований удалось лишь незначительно сократить время установления температуры термостата до 3,5 минут. Следовательно, был установлен предел быстродействия классического ПИД-регулятора, который составил 3,5 минуты. Для повышения быстродействия авторами было предложено использовать комбинированный регулятор.

Исследование комбинированного регулятора

Анализ кривых установления температуры термостата показал, что перерегулирование является крайне нежелательным моментом, т.к. время остывания всегда больше времени нагрева по причине существенного (в несколько раз) запаса мощности нагревателя. Очевидно, что уровень перерегулирования будет тем меньше, чем меньше стартовая разность температур $dT = T_{\delta} - T_{ycm}$. Например, установлено, что при $dT < 0,5^{\circ}\text{C}$, перерегулирование не превышает допустимого уровня в $0,2^{\circ}\text{C}$. Таким образом, если обеспечить форсированный нагрев до температуры, при которой $dT < 0,5^{\circ}\text{C}$, и только потом включить ПИД-регулятор, то выход на заданную температуру пройдет значительно быстрее и практически без перерегулирования.

Для форсированного нагрева при старте термостата предложено использовать П-регулятор (пропорциональный), задачей которого является быстрый нагрев до температуры, при которой $dT < 0,5^{\circ}\text{C}$. Затем включается основной ПИД-регулятор, обеспечивающий нулевую ошибку регулирования и эффективную стабилизацию температуры на заданном уровне.

При настройке П-регулятора установлено, что коэффициент пропорционального звена K_n , при котором обеспечивается условие $dT < 0,5^{\circ}\text{C}$, является линейной функцией стартовой разности температур $dT_{cm} = T_{ycm} - T_k$, где T_k – комнатная температура. Таким образом, для установления данной зависимости достаточно определить K_n при двух значениях dT_{cm} . В результате получена следующая зависимость

$$K_n(dT_{cm}) = 0,3 \cdot dT_{cm} + 5. \quad (5)$$

Использование зависимости (5) обеспечивает адаптивность параметров П-регулятора к разности температур уставки и комнатной dT_{cm} .

Для определения момента перехода с П- на ПИД-регулятор был разработан критерий перехода, заключающийся в одновременном выполнении трех условий:

- 1) Обнаружен перегиб кривой температуры $T_i < T_{i-1}$, что означает, что текущее значение температуры термостата меньше, чем на предыдущем шаге.
- 2) Текущая температура меньше установленной $T_i < T_{ycm}$. Это важно, если выход на заданную температуру происходит сверху, а не снизу.
- 3) Количество измерений, выполненных от старта работы регулятора должно быть не менее 10 ($N_{izm} < 10$). В противном случае из-за задержки распространения сигнала возможно ошибочное выполнение условий 1 и 2 в первый момент после запуска регулятора.

На рисунке 4 представлена блок-схема алгоритма работы разработанного комбинированного регулятора. Вначале измеряется температура в комнате T_k . Затем задается требуемая температура T_{ycm} , рассчитывается коэффициент K_n , зависящий от стартовой разности dT_{cm} , и запускается П-регулятор. П-регулятор обеспечивает быстрый нагрев термостата и выполнение условия $dT < 0,5^{\circ}\text{C}$. В момент, когда температура достигла максимального значения и начинает уменьшаться, выполняются критериальные условия (блок 5) и включается ПИД-регулятор.

На рисунке 5 приведена экспериментальная кривая изменения температуры термостата при использовании комбинированного П-ПИД-регулятора. Результаты натуральных испытаний позволили оценить время установления температуры, которое не превышает 1,5 минуты при заданном допустимом отклонении температуры в $0,2^{\circ}\text{C}$. Таким образом, использование

комбинированного регулятора обеспечивает увеличение быстродействия термостата в 2,3 раза по сравнению с классическим ПИД-регулятором.

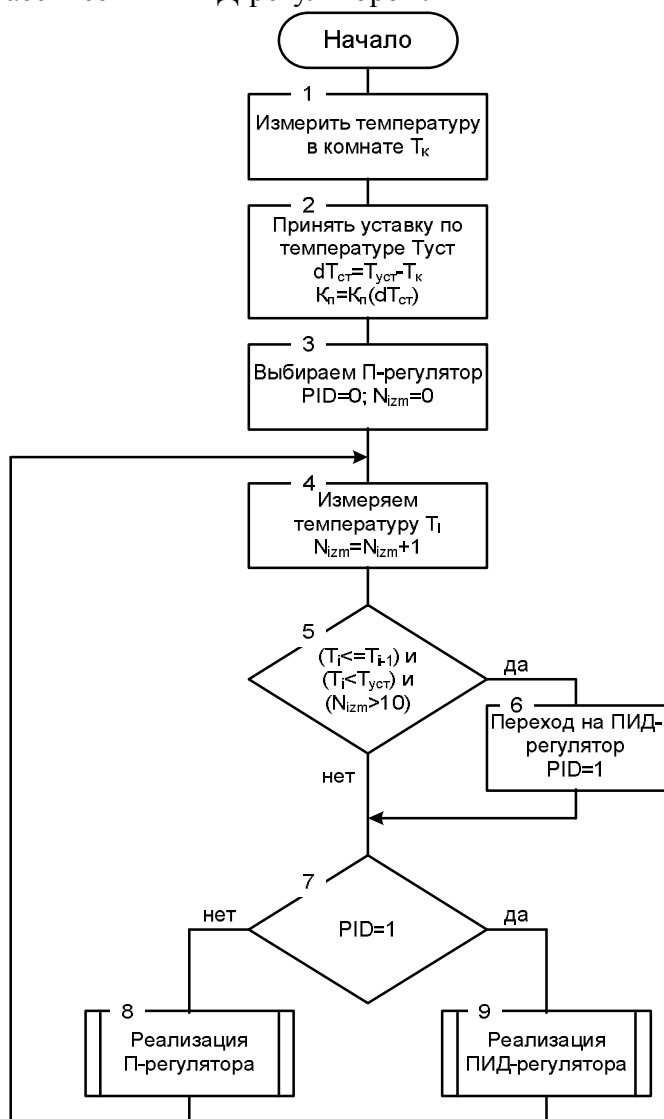


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма работы комбинированного регулятора

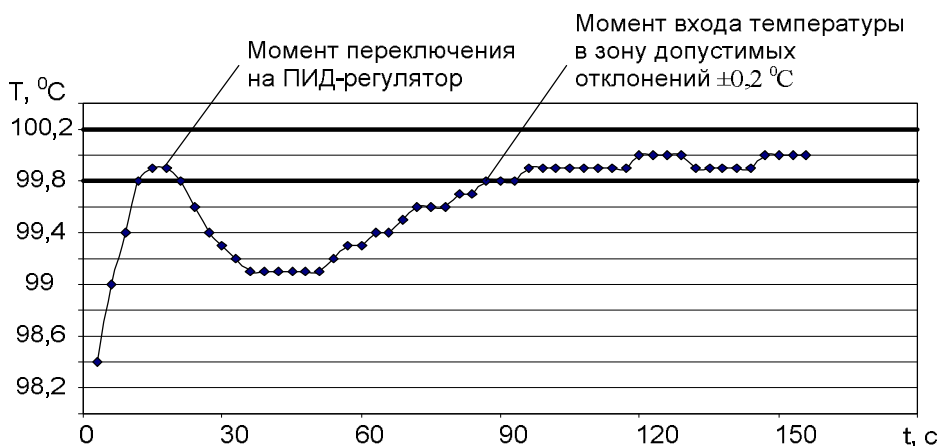


Рисунок 5 – Экспериментальная кривая изменения температуры термостата при использовании комбинированного П-ПИД-регулятора

Выводы

1. В результате исследований найден предел быстродействия классического ПИД-регулятора термостата стенда для исследований термодпар, который составил 3,5 минуты.
2. Предложенные алгоритм работы, критерий перехода и методика настройки комбинированного П-ПИД-регулятора обеспечивают увеличение быстродействия термостата в 2,3 раза в сравнении с классическим ПИД-регулятором и адаптивность параметров регулятора к изменениям комнатной температуры. Время установления температуры в термостате при этом не превышает 1,5 минуты при заданном допустимом отклонении $0,2^{\circ}\text{C}$.

Список использованной литературы

1. Система определения статических и динамических характеристик датчиков температуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nites.n-sk.ru>. - Дата доступа: март, 2013.
2. Современные методы идентификации систем / Под ред. П. Эйкхоффа; пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 400 с.

Надійшла до редакції:
30.04.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А

Д.М. Кузнєцов, М.М. Чернишев, К.Д. Пометун

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Комбінований регулятор температури термостата стенду для досліджень термодпар.

Запропоновано алгоритм роботи та методика налаштування комбінованого регулятора температури термостата, що забезпечує істотне скорочення часу встановлення температури у порівнянні з класичним ПИД-регулятором.

Ключові слова: *термостат, комбінований регулятор, методика налаштування, підвищення швидкодії.*

D.M. Kuznetsov, N.N. Chernishev, K.D. Pometun

Donetsk National Technical University

Combined Temperature Regulator of Stand Thermostat for Thermocouples Research. *The purpose of the work is to develop a simple temperature regulator of stand thermostat for thermocouples research, which will reduce the time of temperature establishment. Tubular ceramic resistor was used as a working element. First the PID-regulator of thermostat temperature was implemented and studied. For the setup of the PID-regulator on the basis of the experimentally removed acceleration curve with input action in the form of leap, as a result of solving the identification problem, the thermostat dynamic model was obtained. This model was investigated in the interactive program for modeling, imitation and analysis of dynamic MATLAB&SIMULINK systems for the purpose of regulator's speed optimization with a given temperature tolerance. As a result we found the speed limit of the classical thermostat PID-regulator. The combined P-PID-regulator of temperature and the algorithm of its work were developed to increase thermostat speed. The P-regulator is used for forced heating at thermostat start. Then the main PID-regulator providing a zero error of regulation and effective temperature stabilization at a set level turns on. A corresponding transition criterion was developed to find the moment of transition from P- to PID-regulator. The suggested technique of the regulator setup provides the adaptability of its parameters to the difference between setting and room temperature. Natural tests showed that the developed work algorithm, transition criterion and combined P-PID-regulator's setup technique provide an increase in thermostat speed by 2,3 times in comparison with the classical PID-regulator. In this case the time of temperature establishment in the thermostat does not exceed 1,5 minutes at the set tolerance $0,2^{\circ}\text{C}$.*

Keywords: *thermostat, combined controller, setup technique, performance improvement.*