

УДК 51-74:62-52+536.5

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТА
ПЕЛЬТЬЕ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ****В.А. Гринкевич***Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН*

В статье рассматривается оценка параметров математической модели нелинейного объекта с запаздыванием. Объектом идентификации в данной работе является термостоллик на основе элемента Пельтье. Для идентификации подавалось несколько реализаций входных сигналов на вход объекта идентификации. Для расчета параметров нелинейного дифференциального уравнения, описывающего объект идентификации, применен метод наименьших квадратов. Метод наименьших квадратов использован для идентификации по причине простоты его реализации и возможности идентификации нелинейных объектов. Приведены значения параметров математической модели, полученных в результате идентификации. Показаны графики изменения температуры в системе управления температурой с рассчитанным регулятором на основе полученной математической модели в результате идентификации. Выяснено, что полученная модель в результате идентификации может быть применена для расчета регуляторов для нелинейных систем, в частности для термостоллика на основе элемента Пельтье, а также при проектировании самонастраивающихся регуляторов. Однако предложенный в данной работе метод наименьших квадратов не позволяет оценить время запаздывания. Поэтому время запаздывания предварительно оценено по переходным процессам по температуре. Идентификация динамических объектов применяется, когда требуется получить структуру математической модели и оценить значения параметров исходя из входного и выходного сигнала объекта управления. Кроме того идентификация применяется при автоматической настройке регуляторов. Математическая модель объекта управления необходима для расчета регулятора, который используется для обеспечения требуемой точности и устойчивости систем управления. Элементы Пельтье применяются при проектировании термостатов малой мощности и малых размеров. Термостаты на основе элемента Пельтье могут обеспечить температуру как выше температуры окружающей среды, так и ниже.

Ключевые слова: идентификация, математическая модель, метод наименьших квадратов, нелинейный объект, термостоллик, элемент Пельтье.

DOI: 10.17212/1727-2769-2020-1-2-17-27

Введение

Элементы Пельтье [1] применяются для конструирования термостатов малой мощности [2], формирователей температурных воздействий на растения [3, 4], термостатирования лазеров, ПЗС-матриц и биоматериалов [5]. Также элементы Пельтье применяются в формирователях температурного профиля [6], массажерах кожи человека, водяных кулерах, управляемых термостолликах [7] и термоэлектрических холодильниках [8]. Температурным профилем [6] называется закон изменения температуры от времени.

Идентификация [9] объектов управления применяется для дальнейшего расчета регуляторов, а также для проектирования самонастраивающихся систем.

В данной статье в качестве объекта идентификации рассматривается управляемый термостоллик на основе элемента Пельтье. С целью обеспечения требуемой точности и других технических требований необходимо применять регулятор

температуры. Для расчета регулятора температуры необходимо вывести математическую модель объекта управления. Для таких задач применяется идентификация [9]. Существует множество учебных пособий и публикаций, посвященных идентификации динамических объектов, например [9–13]. Однако в большей их части рассматривается идентификация линейных объектов. Для идентификации объектов с применением нейронных сетей [13] требуется обучать нейронную сеть. В работе [1] на основе графиков переходных процессов предложена структура математической модели элемента Пельтье и эмпирически оценены параметры. Однако эмпирические методы не всегда являются эффективными, поэтому в данной работе рассматривается идентификация термостоллика на основе элемента Пельтье с применением метода наименьших квадратов [11].

Метод наименьших квадратов и его модификации широко применяются для оценки импульсной характеристики линейных объектов. Для нелинейных объектов с помощью метода наименьших квадратов можно оценить параметры нелинейного дифференциального уравнения, описывающего объект идентификации. Недостатком такого метода является необходимость вычисления производных, что при наличии высокочастотных помех повышает погрешность идентификации.

1. Постановка задачи

В данной работе рассматривается параметрическая идентификация термостоллика на основе элемента Пельтье (рис. 1). Выходной величиной объекта идентификации является температура его рабочей поверхности, а входной величиной – протекаемый через элемент Пельтье ток.

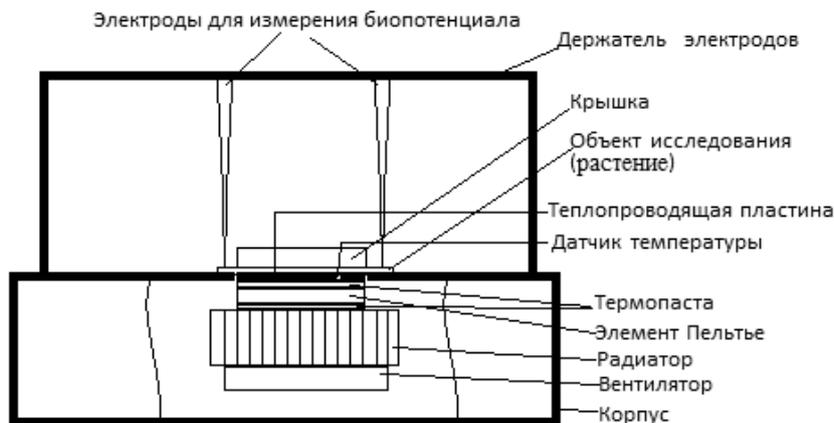


Рис 1 – Схема термостоллика

Fig 1 – The diagram of the temperature stage

В данной статье сторона элемента Пельтье, воздействующая на рабочую поверхность термостоллика, названа рабочей стороной, противоположная ей сторона – радиаторной. Рабочая сторона элемента Пельтье, теплопроводящая пластина, датчик температуры, объект исследования составляют рабочий объем термостоллика.

Целью работы является оценка параметров математической модели термостоллика методом наименьших квадратов. В данной работе используется структура математической модели термостоллика, полученная в статье [1]. Для оценки параметров сняты переходные процессы по температуре при различных токах.

В работе [1] рассмотрен синтез регулятора методом разделения движений для термостоллика на основе элемента Пельтье и выяснено, что наиболее подходящей структурой алгоритма управления является ПИД-регулятор с общим множителем, зависимым от тока и температуры. Для расчета общего множителя регулятора использовались значения параметров математической модели термостоллика на основе элемента Пельтье. В статье [1] эмпирически оценивались параметры математической модели термостоллика. Однако эмпирическая оценка параметров может проводиться долгое время и дать неточные значения параметров. В связи с этим в данной работе исследуется применение метода наименьших квадратов для устройства на основе элемента Пельтье.

2. Идентификация математической модели для термостоллика

В работе [1] выведена структура математической модели термостоллика в виде

$$T_c \frac{dT}{dt} + T = T_{\text{рабс}}(t - t_{\text{зап}}),$$

$$\frac{dT_{\text{рабс}}}{dt} = \frac{(a_1 T + a_2 I)I + a_4 (T_{\text{ос}} - T_{\text{рабс}})}{a_3}, \quad (1)$$

где T_c – параметр, учитывающий динамику распространения тепла от элемента Пельтье к поверхности термостоллика; T – температура рабочей поверхности термостоллика; t – время; $T_{\text{рабс}}$ – температура рабочей стороны элемента Пельтье; $t_{\text{зап}}$ – время запаздывания; a_1 – параметр, учитывающий эффект Пельтье; a_2 – параметр, учитывающий электрическое сопротивление элемента Пельтье; a_4 – параметр, учитывающий теплообмен с окружающей средой; a_3 – параметр, учитывающий теплоемкость рабочего объема термостоллика.

Из графика на рис. 5 следует, что время запаздывания $t_{\text{зап}} = 1,5$ с. Преобразуем (1) к виду

$$T_c \frac{d^2 T(t)}{dt^2} + \frac{dT(t)}{dt} = \frac{a_1 T(t - t_{\text{зап}})I(t - t_{\text{зап}}) + a_2 I^2(t - t_{\text{зап}})}{a_3} +$$

$$+ \frac{a_4 (T_{\text{ос}}(t - t_{\text{зап}}) - T_{\text{рабс}}(t - t_{\text{зап}}))}{a_3}. \quad (2)$$

В силу того, что температура $T_{\text{рабс}}$ недоступна для измерения, заменим $T_{\text{рабс}}$ в уравнении (2) на T и получим

$$\frac{d^2 T(t)}{dt^2} + \frac{1}{T_c} \frac{dT(t)}{dt} = \frac{a_1 T(t - t_{\text{зап}})I(t - t_{\text{зап}}) + a_2 I^2(t - t_{\text{зап}})}{a_3 T_c} +$$

$$+ \frac{a_4 (T_{\text{ос}}(t - t_{\text{зап}}) - T(t - t_{\text{зап}}))}{a_3 T_c}. \quad (3)$$

Введем

$$\tau = t - t_{\text{зап}},$$

$$q_1(\tau) = T(\tau)I(\tau),$$

$$q_2(\tau) = T_{\text{oc}}(\tau) - T(\tau).$$

Переход от математической модели (2) к (3) скажется на значении параметров. Представим (3) в виде

$$\frac{d^2T(t)}{dt^2} + b_1 \frac{dT(t)}{dt} + b_2 I^2(\tau) + b_3 q_1(\tau) + b_4 q_2(\tau) = 0. \quad (4)$$

Для определения параметров b_1, \dots, b_4 воспользуемся методом наименьших квадратов, суть которого заключается в выборе таких параметров b_1, \dots, b_4 , для которых сумма квадратов отклонений левой части уравнения (4) от правой для всех отсчетов по времени будет минимальной.

$$F = \sum_n \left((0 - \theta_n)^2 \right),$$

где n – номер отсчета,

$$\theta_n = \frac{d^2T(t_n)}{dt^2} + b_1 \frac{dT(t_n)}{dt} + b_2 I^2(\tau_n) + b_3 q_1(\tau_n) + b_4 q_2(\tau_n).$$

$$F \rightarrow \min.$$

Необходимым условием локального минимума является нулевое значение частных производных. В результате получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial b_1} &= \sum_n \left(2(0 - \theta_n) \frac{dT(t_n)}{dt} \right); \\ \frac{\partial F}{\partial b_2} &= \sum_n \left(2(0 - \theta_n) I^2(\tau_n) \right); \\ \frac{\partial F}{\partial b_3} &= \sum_n \left(2(0 - \theta_n) q_1(\tau_n) \right); \\ \frac{\partial F}{\partial b_4} &= \sum_n \left(2(0 - \theta_n) q_2(\tau_n) \right). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{\partial F}{\partial b_1} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial b_2} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial b_3} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial b_4} = 0. \quad (6)$$

Из (5) и (6) следует

$$\begin{aligned} & b_1 \cdot \sum_n \left(\left(\frac{dT(t_n)}{dt} \right)^2 \right) + b_2 \sum_n \left(I^2(\tau_n) \frac{dT(t_n)}{dt} \right) + b_3 \times \\ & \times \sum_n \left(q_1(\tau_n) \frac{dT(t_n)}{dt} \right) + b_4 \cdot \sum_n \left(q_2(\tau_n) \frac{dT(t_n)}{dt} \right) = \\ & = - \sum_n \left(\frac{d^2 T(t_n)}{dt^2} \frac{dT(t_n)}{dt} \right); \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & b_1 \cdot \sum_n \left(\frac{dT(t_n)}{dt} I^2(\tau_n) \right) + b_2 \cdot \sum_n I^4(\tau_n) + b_3 \cdot \sum_n (q_1(\tau_n) I^2(\tau_n)) + \\ & + b_4 \cdot \sum_n (q_2(\tau_n) I^2(\tau_n)) = - \sum_n \left(\frac{d^2 T(t_n)}{dt^2} I^2(\tau_n) \right); \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & b_1 \cdot \sum_n \left(\frac{dT(t_n)}{dt} q_1(\tau_n) \right) + b_2 \cdot \sum_n (q_1(\tau_n) I^2(\tau_n)) + b_3 \times \\ & \times \sum_n \left((q_1(\tau_n))^2 \right) + b_4 \sum_n (q_2(\tau_n) q_1(\tau_n)) = - \sum_n \left(\frac{d^2 T(t_n)}{dt^2} q_1(\tau_n) \right); \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & b_1 \cdot \sum_n \left(\frac{dT(t_n)}{dt} q_2(\tau_n) \right) + b_2 \cdot \sum_n (I^2(\tau_n) q_2(\tau_n)) + b_3 \times \\ & \times \sum_n (q_1(\tau_n) q_2(\tau_n)) + b_4 \sum_n \left((q_2(\tau_n))^2 \right) = - \sum_n \left(\frac{d^2 T(t_n)}{dt^2} q_2(\tau_n) \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Для эффективной оценки параметров b_1, \dots, b_4 для нелинейного объекта требуется провести идентификацию при нескольких вариантах входных сигналов (рис. 2, б), подаваемых на объект идентификации. При использовании метода наименьших квадратов предоставляется возможность объединения всех массивов температуры и тока, полученных при измерении, в один массив температуры и тока с соблюдением последовательности. Решив систему уравнений (7–10) методом Крамера, получим $b_1 = 0,39$, $b_2 = -0,00396$, $b_3 = -0,0002384$, $b_4 = -0,000948$.

3. Сравнение метода наименьших квадратов с эмпирической идентификацией

После расчета b_1, b_2, b_3, b_4 , получаем: $T_c = 2.56$ с, $a_2/a_3 = 0,0261$, $a_1/a_3 = 0,00157$, $a_4/a_3 = 0,0615$. В работе [1] с применением эмпирической идентификации были получены следующие значения: $T_c = 4$ с, $a_2/a_3 = 0,0266$, $a_1/a_3 = 0,0023$, $a_4/a_3 = 0,0025$. Из результатов работы [1] следует, что нужно использовать переменный общий коэффициент k_0 ПИД-регулятора, зависящий от тока и температуры, для улучшения качества регулирования. В работе [1] исследовалось регулирование при общем коэффициенте, вычисляемом по формулам (11)–(13).

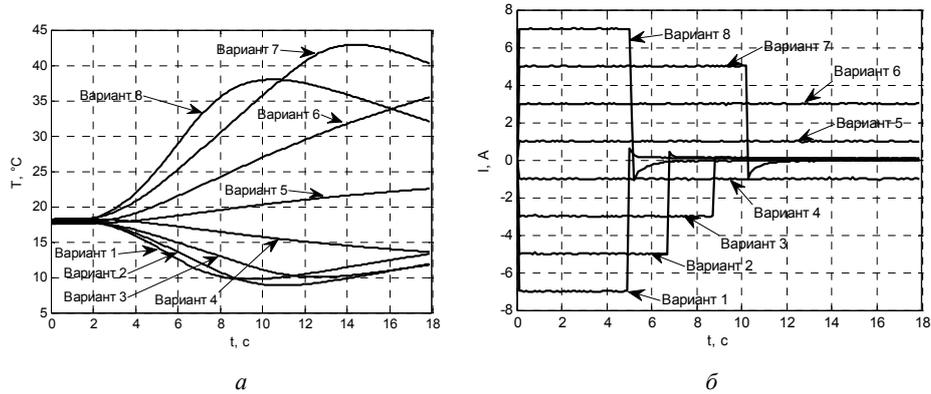


Рис 2 – Переходные процессы при заданном токе:

a – графики изменения температуры при соответствующих вариантах задания тока на рис 5, b ; b – варианты заданных токов для исследования нелинейности термостойлика на основе элемента Пельтье

Fig 2 – Transient processes at specified current:

a is the plots of the temperature change for the versions of desired currents in Fig 5, b ; b is the desired current variants to study the non-linearity of the temperature stage based on a Peltier element

$$k_0 = \frac{a_3 T_c}{a_2 I + a_1 T}; \quad (11)$$

$$k_0 = \frac{0,2a_3 T_c}{a_2 I + a_1 T}; \quad (12)$$

$$k_0 = \frac{0,2a_3 T_c}{1,56a_2 I + a_1 T}. \quad (13)$$

Из результатов работы [1] следует, что с применением формулы (11) переходные процессы имеют колебательный характер вследствие пренебрежения запаздыванием при расчете коэффициентов регулятора температуры. Также в статье [1] исследовано, что при расчете изменяющегося общего коэффициента по формуле (13) регулирование более эффективное при быстром изменении температуры, чем при расчете k_0 по формуле (12).

В статье [1] отношение a_2/a_1 равно 11,56. В настоящей статье отношение a_2/a_1 равно 16,62, что ближе к значению $1,56a_2/a_1$, вычисленному методом эмпирической идентификации в работе [1].

4. Исследование регулирования температуры

В этом разделе показаны результаты при рассчитанном коэффициенте k_0 с применением параметров математической модели, полученных с помощью идентификации по методу наименьших квадратов. На графиках заданная (желаемая) температура обозначена как T_d , а температура с датчика – как T .

На рис. 3, a и b показаны процессы в системе регулирования температурой при использовании k_0 , рассчитываемого по формуле (11), и параметров, полученных в данной работе. Как видно, процессы имеют колебательный характер. На рис. 4, a и b показаны процессы в системе регулирования температурой при использовании k_0 ,

рассчитываемого по формуле (12), и параметров, полученных в данной работе. Как видно, качество регулирования температуры соответствует требованиям.

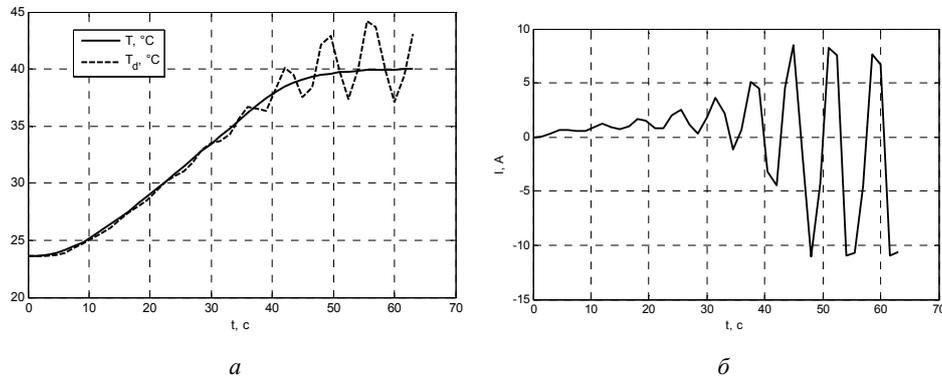


Рис. 3 – Процессы в системе управления температурой:

a – процессы по температуре при общем коэффициенте ПИД-регулятора, рассчитанном по формуле (11); *b* – процессы по току при общем коэффициенте ПИД-регулятора, рассчитанном по формуле (11)

Fig. 3. Processes in the temperature control system:

a is temperature processes with the shared coefficient of the PID-controller calculated by the formula (11); *b* is current processes with the shared coefficient of the PID-controller calculated by the formula (11)

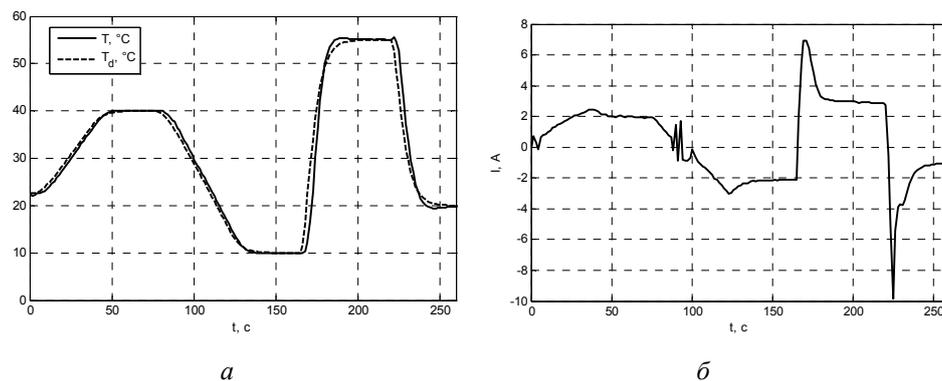


Рис. 4 – Процессы в системе управления температурой:

a – процессы по температуре при общем коэффициенте ПИД-регулятора, рассчитанном по формуле (12); *b* – процессы по току при общем коэффициенте ПИД-регулятора, рассчитанном по формуле (12)

Fig. 4 – Processes in the temperature control system:

a is temperature processes with the shared coefficient of the PID-controller calculated by the formula (12); *b* is current processes with the shared coefficient of the PID-controller calculated by the formula (12)

На рис. 5, *a* и *б* показаны процессы в системе регулирования температурой при использовании k_0 , рассчитываемого по формуле (14), и параметров математической модели термостоллика, полученных в данной работе. Как видно, качество регулирования температуры соответствует требованиям.

$$k_0 = \frac{0,25a_3T_c}{1,7a_2I + a_1T}. \quad (14)$$

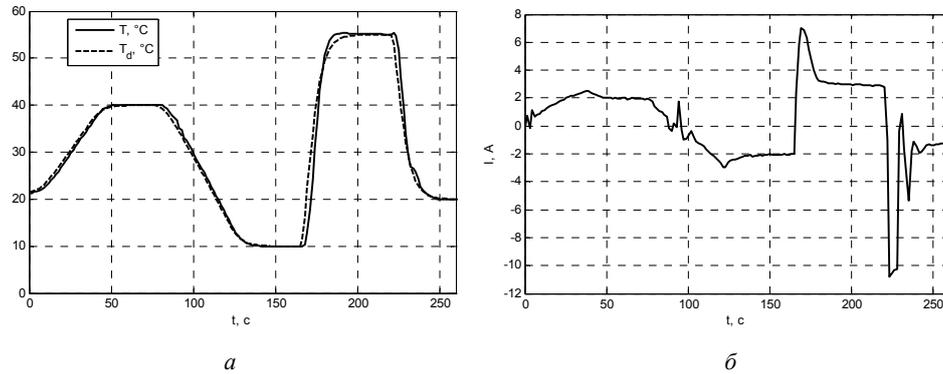


Рис. 5 – Процессы в системе управления температурой с общим коэффициентом ПИД-регулятора, рассчитанным по формуле (14):

a – процессы по температуре; *b* – процессы по току

Fig. 5 – Processes in the temperature control system with the PID-controller shared coefficient calculated by the formula (14):

a is temperature processes, *b* is current processes

На рис. 6 показана структурная схема ПИД-регулятора температуры, для которого параметры k_p , k_i , k_d , τ рассчитаны в статье [1].

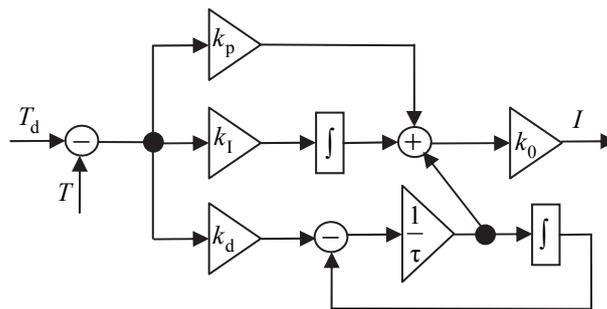


Рис. 6 – Структурная схема ПИД-регулятора

Fig. 6 – The block diagram of the PID controller

5. Обсуждение результатов

Результаты работы показывают, что метод наименьших квадратов позволяет определить параметры дифференциального уравнения нелинейного объекта с запаздыванием, однако время запаздывания необходимо предварительно оценить по графику переходных процессов на рис. 2. В частности, данный метод может быть применен для идентификации устройств на основе элемента Пельтье. Из рис. 3–5 следует, что математическую модель, полученную в результате идентификации предложенным методом, можно применять для расчета регулятора для устройств на основе элемента Пельтье.

Заключение

Исследовано применение метода наименьших квадратов для идентификации нелинейного объекта с запаздыванием на примере термостоллика на основе эле-

мента Пельтье. Выполнено сравнение идентификации на основе метода наименьших квадратов с эмпирическим методом, предложенным в работе [1]. Метод наименьших квадратов подходит для идентификации нелинейных объектов (устройств на основе элемента Пельтье).

Предложенный в данной работе метод можно использовать для идентификации нелинейных объектов с запаздыванием. Полученную в результате идентификации математическую модель можно применять при синтезе регуляторов, а также для проектирования самонастраивающихся систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гринкевич В.А.** Синтез регулятора температуры для термостолка на основе элемента Пельтье // Научный вестник НГТУ. – 2020. – № 1 (78). – С. 55–74. – DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-55-74.
2. Полупроводниковый термостат для лабораторных исследований «ТС-20» / И.П. Егорова, Ю.И. Иванов, С.Н. Колесников, Г.И. Сидоров // Известия ТРТУ. – 2002. – № 6 (29). – С. 121–123.
3. **Сероклинов Г.В., Гулько А.В.** Информационные технологии при исследовании изменения биопотенциала растений от действия температуры // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2014): труды XII международной конференции, 2–4 октября 2014 г.: в 7 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – Т. 7. – С. 72–75.
4. **Сероклинов Г.В.** Задачи автоматизации экспериментальных исследований сложных биофизических объектов // Методы и технические средства исследований физических процессов в сельском хозяйстве: сборник научных трудов СибФТИ. – Новосибирск, 2001. – С. 46–53.
5. **Магомедов Д.А., Хазамова Л.А., Миспахов И.Ш.** Малогабаритный термостат для перевозки биоматериалов // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. – СПб., 2015. – С. 458–460.
6. **Парфенов А.** Температурный профиль конвекционной пайки. Что это такое? // Технологии в электронной промышленности. – 2009. – № 2 (30). – С. 29–30.
7. Термостолк для микроскопа на элементах Пельтье / Н.С. Безруков, А.Н. Одириев, К.Ф. Килимиченко, Ю.М. Перельман // Системный анализ в медицине (САМ 2017): материалы XI международной научной конференции, 19–20 октября 2017 г. – Благовещенск, 2017. – С. 47–52.
8. **Тарукин Е.М.** Авторефрижераторы // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 6 (13). – С. 68–82.
9. **Епанешников В.Д., Епанешникова И.В.** Модель структурной идентификации непрерывных динамических объектов // Информатика и системы управления. – Благовещенск, 2017. – № 1 (51). – С. 53–63. – DOI: 10.22250/isu.2017.51.53-63.
10. **Раскина А.В.** Определение структуры линейного динамического объекта в задачах непараметрической идентификации // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2016. – Т. 17, № 4. – С. 891–898.
11. **Чикильдин Г.П., Маевский И.В.** Алгоритм определения частоты регуляризации в МНК идентификации импульсной и частотных характеристик // Автоматика и программная инженерия. – 2018. – № 3 (25). – С. 62–68.
12. **Стрижнев А.Г., Марков А.В., Русакович А.Н.** Идентификация объекта управления по переходной характеристике замкнутой системы // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2012. – № 5 (67). – С. 65–72.
13. **Аверкин А.Н., Повидало И.С.** Идентификация динамических объектов с помощью нейронных сетей на основе самоорганизующихся карт Кохонена // Системный анализ в науке и образовании. – 2012. – № 2. – С. 1–9.

THE IDENTIFICATION OF A DEVICE BASED ON A PELTIER ELEMENT BY THE LEAST SQUARES METHOD

Grinkevich V.A.

Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies Russian Academy of Science, Krasnoobsk, Russia

The evaluation of the mathematical model parameters of a non-linear object with a transport delay is considered in this paper. A temperature controlled stage based on a Peltier element is an identification object in the paper. Several input signal implementations are applied to the input of the identification object. The least squares method is applied for the calculation of the non-linear differential equation parameters which describe the identification object. The least squares method is used due to its simplicity and the possibility of identification non-linear objects. The parameters values obtained in the process of identification are provided. The plots of temperature changes in the temperature control system with a controller designed based on the mathematical model of the control object obtained as a result of identification are shown. It is found that the mathematical model obtained in the process of identification may be applied to design controllers for non-linear systems, in particular for a temperature stage based on a Peltier element, and for self-tuning controllers. However, the least square method proposed in the paper cannot estimate the transport delay time. Therefore it is required to evaluate the time delay by temperature transient processes. Dynamic object identification is applied when it is required to obtain a mathematical model structure and evaluate the parameters by an input and output control object signal. Also, identification is applied for auto tuning of controllers. A mathematical model of a control object is required to design the controller which is used to provide the required accuracy and stability of control systems. Peltier elements are applied to design low-power and small-size temperature stage. Hot benches based on a Peltier element can provide the desired temperature above and below ambient temperature.

Keywords: identification, mathematical model, least squares method, non-linear object, temperature stage, Peltier element.

DOI: 10.17212/1727-2769-2020-1-2-17-27

REFERENCES

1. Grinkevich V.A. Sintez regulatora temperatury dlya termostolika na osnove elementa Pel't'e [Temperature controller design for the temperature controlled stage based on the Peltier element]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2020, no. 1 (78), pp. 55–74. DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-55-74.
2. Egorova I.P., Ivanov Yu.I., Kolesnikov S.N., Sidorov G.I. Poluprovodnikovyi termostat dlya laboratornykh issledovaniy "TC-20" [Semiconductor thermostat for laboratory researches "TC-20"]. *Izvestiya TRTU = Izvestiya TSURE*, 2002, no. 6 (29), pp. 121–123.
3. Seroklinov G.V., Gun'ko A.V. [Information technology for research biological potential changing by temperature affect]. *Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya (APEP-2014)* [12th International conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE)-34006 proceedings], Novosibirsk, October 2–4, 2014, vol. 7, pp. 72–75. (In Russian).
4. Seroklinov G.V. Zadachi avtomatizatsii eksperimental'nykh issledovaniy slozhnykh biofizicheskikh ob"ektov [Tasks of automation experimental researching of complex biophysical objects]. *Metody i tekhnicheskie sredstva issledovaniy fizicheskikh protsessov v sel'skom khozyaistve* [Methods and technical facilities of researching of physical processes in agriculture]. Novosibirsk, 2001, pp. 46–53.
5. Magomedov D.A., Khazamova L.A., Mispakhov I.Sh. Malogabaritnyi termostat dlya perevozki biomaterialov [Small-size thermostat for transportation of biological materials]. *Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke* [Low-temperature and food technologies in XXI century]. St. Petersburg, 2015, pp. 458–460.
6. Parfenov A. Temperaturnyi profil' konveksionnoi paiki. Chto eto takoe? [Thermal profile of convection soldering. What is it?]. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti = Technologies in Electronic Industry*, 2009, no. 2 (30), pp. 29–30.
7. Bezrukov N.S., Odireev A.N., Kilimichenko K.F., Perelman J.M. [Heating table for microscope based on the Peltier element]. *Sistemnyi analiz v meditsine (SAM 2017): materialy XI mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [System analysis in medicine (SAM 2017): Proceedings of XI International Scientific Conference], Blagoveshchensk, October 19–20, 2017, pp. 47–52. (In Russian).

8. Tarukin E.M. Avtofrizheratory [Refrigerators for car]. *Vestnik NGIEI = Herald NGIEI*, 2012, no. 6 (13), pp. 68–82.
9. Epaneshnikov V.D., Epaneshnikova I.V. Model' strukturnoi identifikatsii nepreryvnykh dinamicheskikh ob"ektov [Model of structural identification by diffraction analysis of continuous dynamic objects]. *Informatika i sistemy upravleniya = Information Science and Control Systems*, 2017, no. 1 (51), pp. 53–63. DOI: 10.22250/isu.2017.51.53-63.
10. Raskina A.V. Opredelenie struktury lineinogo dinamicheskogo ob"ekta v zadachakh neparаметрической identifikatsii [Determination of the structure of linear dynamic objects in non-parametric identification problems]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva = Vestnik SibGAU*, 2016, vol. 17, no. 4, pp. 891–898.
11. Chikil'din G.P., Maevskii I.V. Algoritm opredeleniya chastoty regularizatsii v MNK identifikatsii impul'snoi i chastotnykh kharakteristik [The algorithm of determination regularization frequency in the LSM for the impulse response identification and frequency response identification]. *Avtomatika i programmaya inzheneriya = Automatics & Software Engineering*, 2018, no. 3 (25), pp. 62–68.
12. Strizhnev A.G., Markov A.V., Rusakovich A.N. Identifikatsiya ob"ekta upravleniya po perekhodnoi kharakteristike zamknutoi sistemy [Control object identification using closed-loop system transient response]. *Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki = Doklady BGUIR*, 2012, no. 5 (67), pp. 65–72.
13. Averkin A.N., Povidalo I.S. Identifikatsiya dinamicheskikh ob"ektov s pomoshch'yu neuronnykh setei na osnove samoorganizuyushchikhsya kart Kokhonena [Dynamic object identification with som-based neural networks *Sistemnyi analiz v nauke i obrazovanii = System analysis in science and education*, 2012, no. 2, pp. 1–9.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Гринкевич Владимир Анатольевич – родился в 1994 году, научный сотрудник СибФТИ СФНЦА РАН. Область научных интересов: системы управления и их применение. Опубликовано 11 научных работ. (Адрес: 630501, Россия, Новосибирская область, Новосибирский район, Краснообск, СФНЦА РАН а/я 463. Email: grinkevich-vova@mail.ru).

Grinkevich Vladimir Anatol'yeovich (b. 1994) – researcher, SibFTI SFSCA RAS. His research interests are currently focused on control systems and their application. He is the author of 11 scientific papers. (Address: PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk oblast, 630501, Russia. E-mail: grinkevich-vova@mail.ru).

Статья поступила 09 июня 2020 г.
Received June 09, 2020

To Reference:

Grinkevich V.A. Identifikatsiya ustroystva na osnove elementa Pel'te metodom naimen'shikh kvadratov [The identification of a device based on a Peltier element by the least squares method]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2020, no. 1–2 (46–47), pp. 17–27. DOI: 10.17212/1727-2769-2020-1-2-17-27.