

# ПОЛУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО УПРАВЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ШИМ-МОДУЛЯЦИИ И ПРЕДСКАЗЫВАЮЩЕГО ФИЛЬТРА

Евсеенко О.Н.<sup>1</sup>, Савицкий С.М.<sup>2</sup>, Сальников Д.В.<sup>3</sup>

Кафедра автоматики и управления в технических системах, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

E-mail: sendmeyouremail@mail.ru<sup>1</sup>, savitskiy.s@ukr.net<sup>2</sup>, mr.dimas@meta.ua<sup>3</sup>

**Аннотация.** – Доклад посвящен анализу проблем теплового управления, а также подготовке исходных данных для реализации управления температурой инерционного объекта в заданной точке с помощью широтно-импульсной модуляции и предсказывающего фильтра

Представлены результаты натурных экспериментов по снятию разгонных кривых, а также характеристик с длительностью управляющих воздействий, кратных величине выбранного по теореме Котельникова периода дискретизации.

Предложен математический аппарат для расчетов коэффициентов перехода от натурной модели к математической.

**Ключевые слова:** объекты с распределенными параметрами, обратная задача теплопроводности, ШИМ-регулирование с предсказанием, переходные характеристики.

## I. Введение

Повышение цен на основные виды энерго- и теплоносителей заставляет отказаться от традиционных способов управления теплоснабжением промышленных, офисных зданий и помещений и перейти к так называемым «интеллектуальным» системам управления на основе современной вычислительной техники.

Отсутствие алгоритмов синтеза с предсказанием управляющих воздействий в реальном масштабе времени, совершенствование микропроцессорной техники, способной решать сложные вычислительные задачи, а также появление пакетов программ для моделирования создают условия для поиска решений задач управления теплоснабжением.

Задача разработки алгоритмов управления объектами с распределенными параметрами является актуальной, имеет важное научно-практическое значение и найдет применение в энергетике, пищевой промышленности и в жилищно-бытовой сфере.

## 2. Реализация метода

Существующие системы отопления жилых и офисных зданий работают в неконтролируемом режиме [1], датчики измерения температуры устанавливаются непосредственно на нагревательном элементе, а не в жилых помещениях, в следствие чего нагревательное оборудование в течение длительного времени вырабатывает мощности больше, чем необходимо, что ведет к перегреву воздуха, перерасходу теплового ресурса и ухудшению микроклимата в помещениях.

Предлагаемые решения компаний по автоматизации технологических процессов основаны на терморегуляторах, работающих по релейному или ПИД-закону управления. Работа в данных режимах не учитывает свойства объекта управления — распределенность, линейность, самовыравнивание, а также уникальность объекта. Данные недостатки отсутствуют в методе по управлению температурой объекта с помощью ШИМ-модуляции и предсказывающего фильтра

[2]. Управление нагревателем производится непосредственно по экспериментально полученным характеристикам объекта управления. Это позволяет учитывать структуру и свойства объекта, границы допустимых значений.

Изначально для реализации метода необходимо снять переходные характеристики объекта регулирования и по полученным кривым измерить длительность переходного процесса в объекте  $t_{mn}$ . В качестве объекта исследований была выбрана стальная труба с намотанным на одном конце нагревателем.

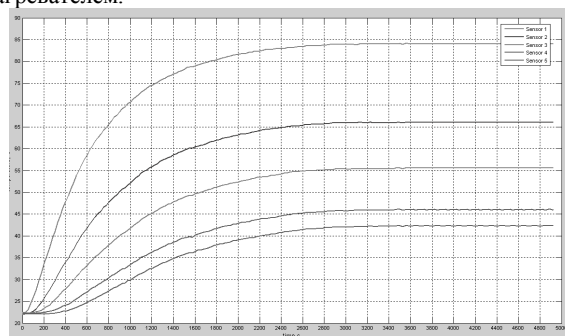


Рис. 1. Переходные характеристики для 5 датчиков температуры

Получение разгонных кривых является решением прямой задачи теплопроводности. Ее решение заключается в отыскании температуры тела, удовлетворяющей дифференциальному уравнению теплопроводности (1) и условиям однозначности [3].

$$\frac{\partial U}{\partial t} - \alpha \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) = 0, (1)$$

где  $U(x,y,z,t)$  — функция трех пространственных переменных  $(x,y,z)$ ,  $t$  — время,  $\alpha$  — положительная константа.

Отыскание граничных условий, в том числе и плотности теплового потока, по имеющейся информации о температуре объекта является предметом решения обратной задачи теплопроводности [3].

Для решения обратной задачи теплопроводности необходимо определить постоянную времени, с которой вычислять предсказание и восстанавливать результат. Определить ее можно решив уравнение теплопроводности, при заданных условиях и известных температурах объекта в точках [4] или воспользовавшись теоремой Котельникова для нахождения периода дискретизации по спектру сигнала. После нахождения максимального периода по теореме Котельникова, необходимо соотнести его с величиной зоны нечувствительности и выбрать величину восстановления результата.

Далее, в соответствии с выбранным периодом дискретизации, время переходного процесса  $t_{mn}$  необходимо разделить на  $N$  равных интервалов длительностью  $t_u$  и на интервалах  $j \cdot t_u$ , где  $1 \leq j \leq N$ , необходимо снять переходные характеристики объекта под влиянием ШИМ сигналов дли-

IV-а міжнародна науково-практична конференція

Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки  
23-25 жовтня 2014 р., Чернівці, Україна

тельностью  $j \cdot t_u$ . Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

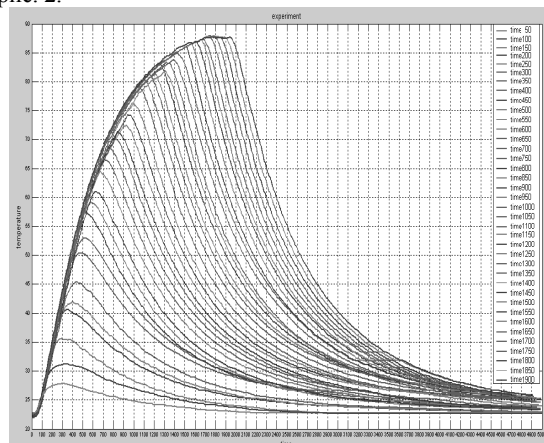


Рис. 2. Полученные переходные характеристики для управляющего воздействия длительностью  $j \cdot t_u$ .

В точках  $j \cdot t_u$ , где  $j \cdot t_u = 1 \cdot t_u, 2 \cdot t_u, \dots, N \cdot t_u$  — измеряется значение выходного сигнала (температуры)  $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N$ . По формуле (2) рассчитываются соответствующие коэффициенты передачи теплового воздействия  $\eta_{i,j}$  для управления тепловым полем в момент времени  $j$

$$\eta_{i,j} = \frac{\Delta \theta_i}{Q \cdot t_{uj}} \Big|_{t_{uj} = t_u \cdot j}, \quad (2)$$

где:  $\Delta \theta_i$  — приращение температуры на  $i$ -том интервале;  $Q$  — мощность теплового потока;  $t_{u,j}$  — длительность  $j$ -го импульса,  $1 \leq j \leq N$ ;

Так как объект является линейным, то характер его переходной функции не зависит от величины амплитуды управляющего воздействия, т.е. отношение выходного параметра объекта  $Y(t)$  к управляющему воздействию  $X$  вида единичной функции есть величина постоянная для одного и того же момента времени [5].

Любое управляющее воздействие можно представить в виде суммы единичных функций. Для тепловых полей справедлив принцип суперпозиции, который заключается в том, что изменение температуры объекта равно сумме изменений температур, обусловленных каждым тепловым потоком (если их несколько) отдельно. Поэтому при воздействии на объект тепловым потоком, который имеет вид ШИМ-функции, при условии, что изменение ШИМ-функции происходит в моменты, кратные  $t_u$ , и при помощи массива коэффициентов  $\eta_{i,j}$  можно рассчитать температуру объекта в любой момент времени, кратный  $t_u$ .

### III. Выводы

Разработан математико-аппаратно-программный комплекс для исследования законов управления тепловыми объектами, включающий в себя оригинальный закон регулирования, программу управления, нагреватель, датчики температуры, контроллер, объект управления.

Проведены экспериментальные исследования по снятию разгонных кривых для объекта исследований — стальной трубы. В качестве амплитуды входного сигнала выбран параметр мощности источника питания.

Полученные разгонные характеристики схожи с поведением аperiodического звена. Эти кривые идентичны тем,

которые демонстрируют тепловые объекты с плохой теплоизоляцией. Рассчитанные коэффициенты пропорциональности подтверждают, что объект является линейным, следовательно, для него можно применять принцип суперпозиции и реализовывать управление температурой объекта с помощью широтно-импульсного регулирования с использованием предсказывающего фильтра.

### IV. Список литературы

- [1] Туркин В. П. Автоматическое управление отоплением жилых зданий: опыт строительства и эксплуатации жилищного фонда в Челябинске / В. П. Туркин, П. В. Туркин, Ю. Д. Тыщенко. — М.: Стройиздат, 1987. — 192 с.
- [2] Спосіб програмного управління тепловим об'єктом з застосуванням широтно-імпульсної модуляції: пат. на корисну модель № 81276 Україна: МПК G05D 23/19 (2006.01) / Савицький С. М., Гапон А. І., Качанов П. О., Євсеєнко О. М., Вискребенцев В. О.; заявник Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — № u201300059; заявл. 02.01.2013; опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12. — 4 с.
- [3] Теория и техника теплофизического эксперимента: [учеб. пособие] / Ф. Гортышов [и др.]; под ред. В. К. Щукина. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 360 с.
- [4] Трохова Н. С. Методы решения обратных задач параболического типа [Электронный ресурс] / Н. С. Трохова — Режим доступа: <http://www.np.vspu.ac.ru/metodika/troхова.pdf>. — Загл. с экрана.
- [5] Управление с предсказанием объектами с распределенными параметрами / А. И. Гапон, С. М. Савицкий, Н. А. Рудакова, А. М. Коркин // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. — Харьков, 2011. — Вып. 11: Автоматика и приборостроение. — С. 11-17.

### GETTING SOURCE DATA FOR THE EXPERIMENT OF CONTROL TEMPERATURE WITH PWM MODULATION AND PREDICTION FILTER

Yevseienko O.N.<sup>1</sup>, Savitskiy S.M.<sup>2</sup>, Salnikov D.V.<sup>3</sup>

Department of the Automatic and Control Systems, National Technical University, Kharkiv Polytechnic Institute, Kharkiv, Ukraine

This report is dedicated to the analysis of problems of thermal control and preparing the source data for implementation a temperature control of inertial object at a given point with pulse-width modulation and prediction filter. Presented the results of natural experiments for receiving the overlocking curves (see Fig.1), characteristics with a duration equal to the value of sampling period  $t_u$  selected by the theorem of Kotelnikov.

Getting the overlocking curves is the solution of the direct problem of heat conduction. Its solution is to find an object's temperature that satisfies the differential equation of heat conduction (1) and the conditions of the uniqueness [3].

The determination of the boundary conditions, including the thermal flux density, according to the available information about the temperature of the object is a subject of solving the inverse heat conduction problem [3].

A steel pipe has been taken as the test object. Overall dimensions, mm: length — 355; diameter — 32; length of the wound heater at the beginning — 82. Sensors data have been fixed every 5 seconds.

Transition features are obtained for the object with five equidistant sensors and a heater.

The first sensor was chosen to investigate the method and located approximately 50 mm away from the bottom of the heater.

The capabilities of transition features are similar to behavior of an aperiodic link. These curves are identical to those that shows thermal objects with bad insulation.

Proposed mathematical apparatus for the calculation transmission coefficients of thermal effects (Formula 2) for transition from a full-scale model to a mathematical.

The calculated coefficients of proportionality are confirmed the fact that the object is linear, therefore, for it is possible to apply the principle of superposition and implement control the temperature of the object by the proposed method — PWM modulation with using prediction filter.