

А.Ф. ДАНИЛЕНКО, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
А.Г. ДЬЯКОВ, канд. техн. наук, ХГУПТ, (г. Харьков)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОСТАТА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрены вопросы исследования динамических характеристик термостата ЯМР спектрометра, как объекта управления с целью обоснования выбора структуры системы управления. Для анализа и получения параметров термостата как объекта управления применены методы прикладного регрессионного анализа. Полученные результаты позволяют сформулировать требования к системе управления термостатом.

Ключевые слова: термостат, динамические характеристики, алгоритм управления.

Постановка проблемы и анализ литературы. Одним из параметров, который можно анализировать при исследовании образцов на установке ядерного магнитного резонанса (ЯМР) является энергия активации. Определение её позволяет сделать заключение о структурной устойчивости исследуемого вещества. В [1, 2] для нахождения энергии активации необходимо определить зависимость времени спин-спиновой релаксации T_2 от температуры исследуемого образца. Поэтому в состав установки ЯМР входит термостат, который позволяет задавать и контролировать температуру нагрева образца [3]. Обычно при проведении исследований используется несколько образцов и поэтому сокращение времени получения заданной температуры с целью повышения эффективности исследований является актуальной задачей.

Существующая методика проведения исследований на установке ЯМР не позволяет установить датчик температуры непосредственно в зону измерения. Поэтому при проведении данных исследований используется косвенная информация о температуре образца с учетом предварительного теоретического анализа термостата как нагреваемого тела. Для построения системы управления и определения рациональных алгоритмов управления нагревом термостата необходимо знать его динамические характеристики [4, 5].

Цель статьи – определение динамических параметров термостата и образца как объектов управления с целью обоснования выбора структуры системы управления и последующей разработки рациональных алгоритмов управления термостатом. Используя полученную информацию, достаточно просто можно разработать устройство, которое позволит уменьшить время установления стационарного режима, что сократит время проведения исследований и существенно повысит их эффективность.

Термостат, упрощенная конструкция которого приведена на рис. 1, состоит из оболочки из термоизоляционного материала (1), внутри которой находится нагреватель (2) и датчик температуры (3), расположенные на

внешней поверхности металлического цилиндра (4). Слой термоизоляции предназначен для снижения потери тепла и повышения эффективности работы нагревателя. Такая конструкция является традиционной для термостатов. Под действием нагревателя температура металлического цилиндра начинает повышаться, что вызывает увеличение температуры датчика и приводит к увеличению его электрического сопротивления.

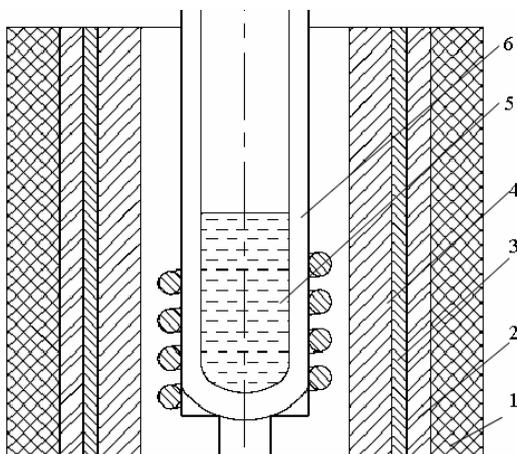


Рис. 1. Конструкция термостата

Постепенно температура внутренней поверхности термостата повышается и через слой воздуха начинается нагрев стеклянной ампулы (6), в которой размещается образец (5). Через определенное время температура металлического цилиндра термостата и исследуемого вещества сравниваются и можно проводить измерения.

Рассмотрим математическую модель термостата. Исходя из приведенной конструкции, его можно рассматривать, как неограниченный четырехслойный цилиндр, в каждом i -м слое которого изменение температуры может быть записано в виде:

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = a_i \left(\frac{\partial^2 T_i}{\partial r_i^2} + \frac{\partial T_i}{\partial r} \cdot \frac{1}{r_i} \right),$$

где a_i – коэффициент температурной проводимости i -го слоя; r_i – текущий радиус i -го слоя; T_i – температура i -го слоя; i – номер слоя ($i = 1 - 4$).

К этим уравнениям необходимо добавить температурные условия на границе раздела слоёв в виде:

$T_1(t) = T_c$ – заданная температура на поверхности термостата (граничное условие 1-го рода);

$$\frac{\partial T_i}{\partial r_i} = \frac{\partial T_{i+1}}{\partial r_{i+1}}; \quad T_i = T_{i+1} \quad - \text{условия температурного режима на границе}$$

двух смежных слоёв ($r_i = r_{i+1}$, $i = 1, 2, 3$);

$$\frac{\partial T_4}{\partial r_4} = 0, \quad \text{при } r_4 = 0 \quad - \text{граничное условие второго рода.}$$

Данная система уравнений при известных теплофизических параметрах материалов термостата может быть решена известными методами [6], однако её решение вызывает значительные трудности. Кроме того, при составлении уравнений было сделано допущение о том, что теплопотери через боковую стенку и торцы термостата отсутствуют. Учет этих потерь привел бы к значительному усложнению математического описания термостата.

Учитывая, что объём исследуемого вещества крайне незначителен по сравнению с объёмом термостата, можно считать, что наибольший интерес представляет значение температуры термостата в точке $r = 0$. При этом общий тепловой поток от внутренней поверхности термостата к исследуемому веществу определяется выражением:

$$Q = \frac{T_{B1} - T_4}{R},$$

где T_{B1} – температура внутренней поверхности металлического цилиндра термостата; T_4 – температура внешней поверхности исследуемого вещества; R – общее термическое сопротивление от внутренней поверхности термостата к образцу. Этот тепловой поток вызывает изменение температуры образца со скоростью:

$$\frac{dT_4}{dt} = \frac{Q}{C_0},$$

где C_0 – теплоемкость образца.

С учетом данных допущений изменение температуры в образце можно найти из приближенной формулы

$$\tau \frac{dT}{dt} + T = T_A,$$

где T – температура образца; T_A – температура внутренней поверхности ампулы; τ – постоянная времени термостата.

Источником тепла в данной системе является нагреватель, поэтому процесс изменения температуры можно описать уравнением

$$\tau \frac{dT}{dt} + T = T_{\text{ВН}} + RP, \quad (1)$$

где τ – постоянная времени термостата; $T_{\text{ВН}}$ – внешняя температура; R – общее тепловое сопротивление между нагревателем и образцом исследования; P – мощность нагревателя.

Если ввести новую переменную $\theta = T - T_{\text{ВН}}$, то соотношение (1) преобразовывается к виду

$$\tau \frac{d\theta}{dt} + \theta = RP$$

и его решение имеет вид

$$\theta(t) = RP(1 - \exp(-t / \tau)). \quad (2)$$

Неизвестными величинами, которые необходимо определить, являются τ и R . Для их идентификации воспользуемся регрессионными соотношениями для линейных динамических процессов [7, 8].

В дискретной форме (2) можно записать в виде:

$$\theta_{k+1} = A\theta_k + BP,$$

где Δt – дискретный интервал времени, $A = (1 - \Delta t / \tau)$, $B = R \cdot \Delta t / \tau$.

Коэффициенты A и B найдем по методу наименьших квадратов из соотношения:

$$|A, B| = \left| F^T F \right|^{-1} \cdot F^T \cdot Y, \quad (3)$$

$$\text{где } F = \begin{vmatrix} \theta_1, & P_1 \\ \vdots & \vdots \\ \theta_N, & P_N \end{vmatrix}, \quad Y = \begin{vmatrix} \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_{N+1} \end{vmatrix}.$$

В этих выражениях θ_i и P_i – значения выходной температуры и мощности нагрева в i -й момент времени. Для нахождения величин θ_i был использован график температур снятый при различных значениях мощности нагревателя P .

Датчик температуры DS18B21 при проведении экспериментов был временно помещен в ампулу вместе с образцом. Регистрация температуры проводилась через каждые пять минут. На рис. 2 приведен график изменения температуры, полученный экспериментально.

После обработки графика по выражению (3) были найдены следующие значения коэффициентов: $A = 0,779$ и $B = 0,663$, из которых было определены постоянная времени термостата $\tau = 82$ мин и термическое сопротивление $R = 3,3$ Гр/Вт.

Окончательное уравнение математической модели термостата имеет вид:

$$T(t) = 3,3P(1 - \exp(-t / 82)) + T_{\text{ВН}}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что большое значение постоянной времени существенно при проведение исследований, которые связаны с изменением температурного режима и это обстоятельство необходимо учитывать при планировании исследований.

Выводы. В результате проделанной работы проанализированы и уточнены динамические характеристики термостата. Полученные результаты позволяют определить параметры системы управления термостатом. Это

обеспечивает переход от одного стационарного значения температуры к другому за минимальное время. Внедрение системы управления позволит повысить эффективность проведения исследований за счет сокращения времени установления температуры.

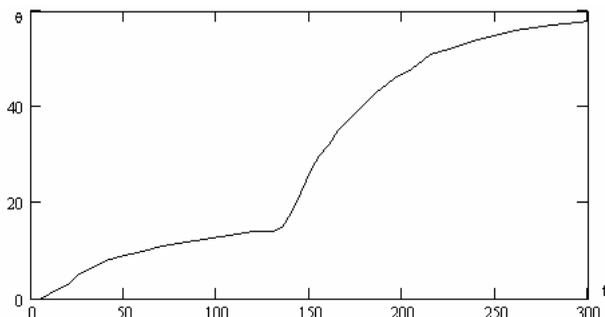


Рис. 2. График изменения температуры в термостате

Список литературы: 1. Даниленко А.Ф., Дьяков А.Г. Система управления спектрометром ЯМР // Вестник НТУ "ХПИ", 2004. – № 26. – С. 119 – 123. 2. Дьяков А.Г., Даниленко А.Ф. Повышение точности измерений в ЯМР спектрометре // Вестник НТУ "ХПИ", 2005. – № 46. – С. 83 – 86. 3. Фаррар Т., Беккер Э. Импульсная и Фурье-спектроскопия ЯМР. – М.: Мир, 1973. – 164 с. 4. Будковский А.Г. Структурная теория распределенных систем. – М.: Наука, 1977. – 320 с. 5. Олсон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации процесса управления. – СПб.: Невский диалект, 2002. – 254 с. 6. Лыков А.В. Теплообмен. Справочник. – М.: Энергия, 1972. – 600 с. 7. Гроп Д. Методы идентификации систем. – М.: Мир, 1979 – 302 с. 8. Норманн Д., Смит Г. Прикладной регрессивный анализ. – М.: Изд. дом "Вильямс", 2007. – 912 с.

УДК 621.316.7

Дослідження динамічних характеристик термостата як об'єкту управління / Даниленко О.Ф., Дьяков О.Г. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – № 24. – С. 31 – 35.

Розглянуті питання дослідження динамічних характеристик термостата ЯМР спектрометра, як об'єкту управління з метою обґрунтування вибору структури системи управління. Для аналізу і отримання параметрів термостата як об'єкту управління застосовані методи прикладного регресійного аналізу. Одержані результати дозволяють сформулювати вимоги до системи управління термостатом. Іл.: 2. Бібліогр.: 8 наз.

Ключові слова: термостат, динамічні характеристики, алгоритм управління.

UDK 621.316.7

Research of the dynamic characteristics of the thermostat as object of management / Danilenko A.F., Dyakov A. G. // Herald of the National State University "KhPI". Subject issue: Information science and modelling. – Kharkov: NSU "KhPI", 2008. – № 24. – P. 31 – 35.

The dynamic characteristics of the thermostat for NMR spectrometer, as an object of management for the ground of choice the structures of the management system were considered. The methods of the applied regressive analysis for receipt of necessary information were applied. The findings allow formulating the system requirements the management by a thermostat. Figs: 2. Refs: 8 titles.

Keywords: thermostat, dynamic descriptions algorithm of management.

Поступила в редакцію 20.04.2008