

УДК 29.03.77

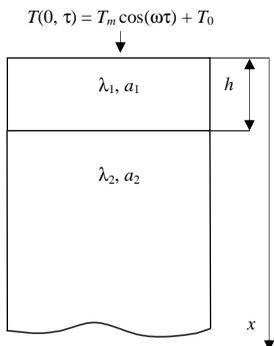
*А.В. Рожков\**

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО НАГРЕВА

В настоящее время широко распространяется и находит себе применение во многих областях науки метод периодического нагрева, который позволяет исследовать широкий класс явлений, проявляющихся в особенностях поведения тепловых свойств веществ. Метод периодического нагрева применим для определения теплофизических свойств (ТФС) твердых неметаллических материалов.

Важным преимуществом гармонического теплового воздействия (в сравнении с другими) является возможность управлять в широких пределах частотой колебаний источника, что существенно упрощает условия оптимизации режима опыта и позволяет снижать влияние теплообмена исследуемого объекта со средой. В опытах удастся непосредственно регистрировать фазовый сдвиг температурных волн.

Рассмотрим систему, состоящую из ограниченного и полуограниченного тел (рис. 1).



**Рис. 1. Математическая модель метода**

Ограниченная пластина (первое тело) приведена в соприкосновение со вторым (полуограниченным) телом. Термические коэффициенты первого тела:  $\lambda_1$  – теплопроводность,  $a_1$  – температуропроводность. Толщина пластины –  $h$ . Для второго тела:  $\lambda_2$  – теплопроводность,  $a_2$  – температуропроводность. Боковые поверхности тел имеют тепловую изоляцию. В начальный момент времени на поверхность ограниченного тела с начальной температурой  $T_0$  начинает действовать источник тепла с гармоническим тепловым воздействием  $T(0, \tau) = T_m \cos(\omega\tau) + T_0$ .

\* Работа представлена в отборочном туре программы У.М.Н.И.К. 2012 г. в рамках Седьмой научной студенческой конференции «Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития» ассоциации «Объединенный университет им. В.И. Вернадского» и выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ГТТУ» И.В. Рогова.

Необходимо найти распределения значений температуры ( $T_1$ ,  $T_2$ ) по длине ограниченного и полуограниченного тел, а так же значение температуры на границе двух тел ( $T_2'$ ) в любой момент времени  $\tau$ .

В математическом виде задача записывается следующим образом:

$$\frac{\partial T_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial T_1^2(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (0 < x < h); \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial T_2^2(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (x > h); \quad (2)$$

$$T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = T; \quad (3)$$

$$T_1(0, \tau) = T_m \cos(\omega\tau) + T_0; \quad (4)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(h, \tau)}{\partial \tau} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(h, \tau)}{\partial x}; \quad (5)$$

$$T_1(h, \tau) = T_2(h, \tau); \quad (6)$$

$$T_2(\infty, \tau) = 0. \quad (7)$$

На основе математической модели (1) – (7) спланирован эксперимент, в ходе которого фиксируют температуру поверхности слоя  $T_1(0, \tau)$  и температуру на границе двух тел  $T_2(h, \tau)$ . По результатам эксперимента (рис. 2) определяют значения амплитуды колебаний температуры на поверхности ограниченного и полуограниченного тел ( $T_m$ , и  $T_{mh}$  соответственно) и фазовое смещение  $\varphi_h$  колебаний температуры ограниченного тела относительно колебаний источника мощности.

Определив значения  $T_m$ ,  $T_{mh}$ ,  $\varphi_h$ , и зная тепловую активность ограниченного тела  $\varepsilon_1$ , тепловую активность полуограниченного тела находят из выражения

$$\varepsilon_2 = 2(T_m/T_{mh})\varepsilon_1 \exp(-\varphi_h) - \varepsilon_1.$$

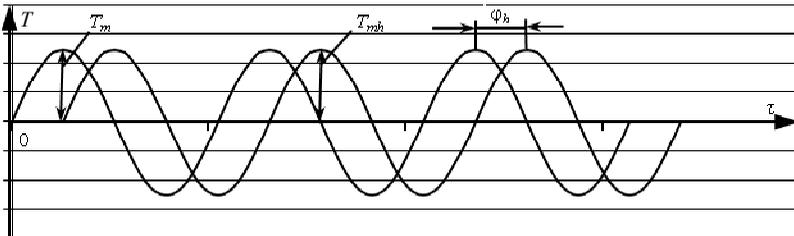
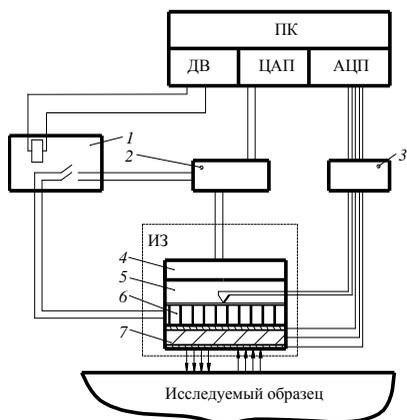


Рис. 2. Влияние температурных волн на поверхность исследуемого тела

Тепловая активность, (коэффициент тепловой активности, теплоусвояемость тепла, коэффициент теплоусвоения) характеризует теплоинерционные свойства тела в отношении его способности поглощать или отдавать тепловую энергию.

Схема измерительной системы, реализующей рассматриваемый метод, представлена на рис. 3.



**Рис. 3. Схема измерительной системы:**

- 1 – блок управления; 2 – блок питания;  
3 – блок компенсации холодных спаев; 4 – вентилятор;  
5 – радиатор; 6 – элемент Пельтье; 7 – термомер

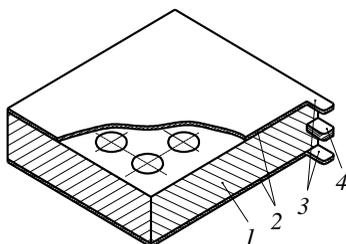
ИС состоит из измерительного зонда (ИЗ), блоков управления и питания, персонального компьютера (ПК). Подсистема управления и питания ИС включает в себя: блок управления, блок питания, блок холодных спаев термопар. Особенностью ИЗ является применение элемента Пельтье, который используется для задания периодических тепловых воздействий

Управление и регистрация измерительной информации осуществляется с помощью ПК, оснащенного многофункциональной платой сбора данных PCI-1202Н. На аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) платы сбора данных поступают сигналы от термомера и термопары. Термопара, встроенная в радиатор, регистрирует значения температуры на границе поверхности элемента Пельтье и радиатора. Сигналы с измеренными значениями термоЭДС через блок холодных спаев поступают на АЦП платы.

Напряжение на элемент Пельтье подается от блока питания через контакты блока управления, который управляется ПК через дискретные выходы (ДВ) платы. Питание вентилятора осуществляется от блока питания.

ИЗ создает гармонический тепловой поток и фиксирует значения температуры на поверхности образца. ИЗ состоит из элемента Пельтье, тепломера и охлаждающего устройства: радиатора и вентилятора.

Тепломер (или одиночный датчик теплового потока (ОДТП)) состоит из промежуточного термоэлектрода с известным коэффициентом теплопроводности, служащего вспомогательной стенкой, и двух других плоских тонкостенных термоэлектродов с токосъемными проводками, образующих термоэлектрическую цепь. При прохождении теплового потока через тепломер на гранях константанового термоэлектрода возникает термоЭДС. По токосъемным выступам термоЭДС подается на измерительную плату. Для увеличения термического сопротивления в пластине из константана высверливаются отверстия. Конструкция тепломера представлена на рис. 4.



**Рис. 4. Конструкция тепломера:**

- 1 – константановый промежуточный термоэлектрод;
- 2 – тонкостенные медные термоэлектроды;
- 3 – медные токосъемные выступы;
- 4 – константановый токосъемный выступ

Для определения тепловой активности материалов, напрямую зависящей от других теплофизических свойств, проводится эксперимент, показывающий, что она может быть найдена в зависимости от тепловой активности известного материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов, Л.П. Измерения теплофизических свойств веществ методом периодического нагрева / Л.П. Филиппов. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 104 с.
2. Моделирование теплопереноса в системе двух тел при гармоническом тепловом воздействии / И.В. Рогов, Н.Ф. Майникова, С.В. Молодов, О.Н. Попов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 360 – 364.