

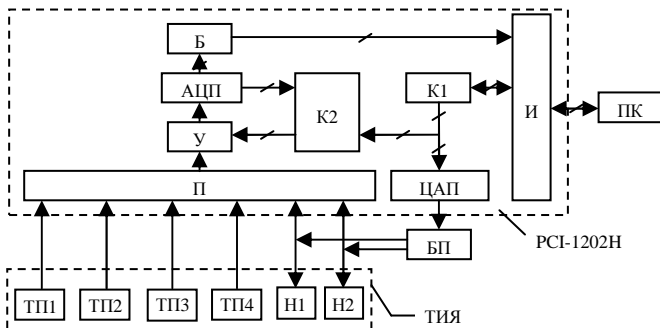
УДК 536.2.022

*Д.С. Кацуба, С.О. Юрина\**

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРОЗАВИСИМЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Теплофизические свойства являются важнейшими характеристиками веществ и материалов. Количественные расчеты тепловых и температурных полей реальных тел возможны только тогда, когда известны конкретные значения теплофизических свойств (ТФС) материалов этих тел.

Исследования температурных зависимостей ТФС твердых материалов проводили на измерительной системе (ИС), реализованной в виде комплекса, состоящего из персонального компьютера, встраиваемой в компьютер измерительно-управляющей платы АЦП/ЦАП PCI-1202, теплоизмерительной ячейки (ТИЯ) и регулируемого блока питания (БП). Электронагреватель, входящий в состав ТИЯ, обеспечивает создание теплового воздействия на исследуемый образец, фиксирование температуры в заданных точках контроля термоэлектрическими преобразователями (ТП). Структурная схема ИС представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Структурная схема измерительной системы**

\* 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 д-ра техн. наук, профессора ФГБОУ ВПО «ТГТУ» Н.П. Жукова.

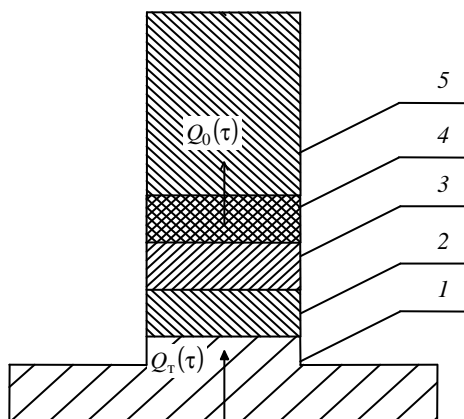
Мощность и длительность теплового воздействия встроенных в основание ТИЯ нагревателей (Н1) и (Н2) задаются программно через интерфейс (И), контроллер К1, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и БП. Регулирующий сигнал поступает на вход операционного усилителя (ОУ), включенного по неинвертирующей схеме. Сигнал с выхода ОУ подается на базу силового транзистора. ОУ поддерживает напряжение на выходе БП равное напряжению регулирующего сигнала.

Сигналы с ТП и БП поступают через мультиплексор (П), усилитель (У), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), буфер обмена (Б) и интерфейс в персональный компьютер. Контроллер К2 обеспечивает необходимый порядок опроса каналов и различные диапазоны измерения на каждом из них. Сбор информации производится при нагреве исследуемого тела.

Программное управление позволяет изменять алгоритмы, управляющие режимом эксперимента без изменения аппаратной части ИС, что делает систему гибкой и расширяет ее функциональные возможности.

Для измерения теплопроводности в приборе используется метод динамического  $\lambda$ -калориметра.

Тепловая схема метода представлена на рис. 2. Испытуемый образец 4 (в виде диска диаметром 15 мм и высотой 0,5...5 мм с притертыми контактными поверхностями), пластина 2, контактная пластина 3 и стержень 5 разогреваются тепловым потоком  $Q_0(\tau)$ , поступающим от основания 1.



**Рис. 2. Тепловая схема метода:**

1 – основание (блок нагрева); 2 – пластина; 3 – пластина контактная;  
4 – образец испытуемый; 5 – стержень

Боковые поверхности стержня 5, образца 4, пластины 2, 3 адиабатически изолированы. Стержень 5 и контактная пластина 3 изготовлены из меди, обладающей высокой теплопроводностью, поэтому перепады температуры на них незначительны.

Перед тем, как снимать экспериментальные данные, нужно градуировать измерительную систему, что подразумевает определение зависимости градуировочных параметров  $P_k$  и  $K_T$  от температуры. Для этого организуют специальные градуировочные эксперименты с образцами из меди и кварцевого стекла.

Градуировочные эксперименты осуществлялись в следующем порядке.

1. Изготавливают образец из исследуемого материала в виде цилиндра (диска) диаметром  $d = 15 \pm 0,3$  мм с высотой  $h$  в пределах  $h = 0,5 \dots 5$  мм.

Плоские поверхности образца в виде диска должны быть либо притерты шлифовальным порошком на контрольной плите, либо обработаны на плоскошлифовальном станке. Фаски на кромках дисков не допускаются.

2. Изготовленный испытуемый образец устанавливают на контактную пластину и сверху поджимают стержнем.

Опускают колпак и доводят температуру ядра ТИЯ до необходимого начального значения.

3. После достижения необходимой начальной температуры начинают проведение активной стадии эксперимента.

В процессе эксперимента осуществляется монотонный нагрев ТИЯ со скоростью  $b \approx 0,1$  К/с. Одновременно регистрируются значения температуры контактной пластины  $T_k(\tau)$  и стержня  $T_c(\tau)$ , температурные перепады  $n_o$  на образце и  $n_T$  на тепломере, а также состояние сигналов управления нагревателями блока и адиабатной оболочки.

4. Активную стадию эксперимента прекращают после достижения заданного значения предельной температуры, которая должна быть на несколько градусов ниже температуры деструкции исследуемого материала.

5. Осуществляют обработку полученных экспериментальных данных при помощи программы для градуировки измерительной системы.

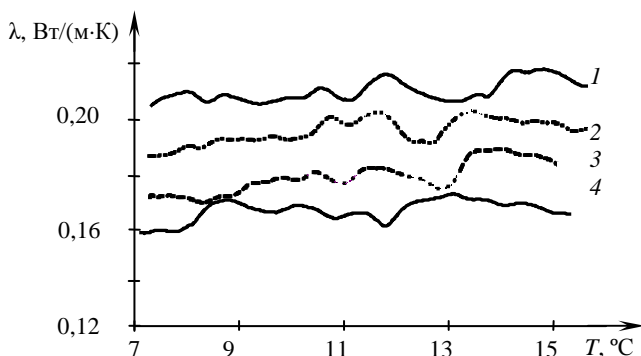
Управление нагревателями ИС производилось в автоматическом режиме.

Экспериментальные исследования температурных зависимостей теплопроводности проводились по методике, аналогичной градуировке,

на образцах, предоставленных РХТУ им. Д.И. Менделеева, из эпоксисмола DEN 425, отвержденной метилэтилендициклогексаном (МЭА) ангидридом дикарбоновой кислоты. В качестве ускорителя использован 2,4,6-трис (диметиламинометил) фенол (УП 606/2), в качестве наполнителей применены многослойные углеродные нанотрубки (УНТ) в растворе Лапролат-301 (Лапролат-301 – олигоэфирциклокарбонат).

Известно, что введение наполнителей или модификаторов в полимер влияет на теплопроводность, причем численное значение теплопроводности  $\lambda$  композиционного материала будет определяться не только количеством введенной добавки, но и характером ее взаимодействия с полимерной фазой [1].

На рисунке 3 представлены экспериментальные данные, полученные в опытах с образцами из композиционных материалов на основе эпоксисмола DEN 425.



**Рис. 3. Зависимости теплопроводности композиционных материалов (с наполнителем) от температуры. Количество наполнителя: 1 – исходный материал; 2 – 0,7%; 3 – 1,5%; 4 – 2%**

Наполнение эпоксисмола DEN 425 углеродными нанотрубками существенно понижает теплопроводность материала (на 25%) во всем исследуемом интервале значений температуры (70...160 °C), фактически не меняя характера кривой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции / Ю.С. Зайцев и др. – Киев : Наукова Думка, 1990. – 200 с.

*Кафедра «Гидравлика и теплотехника» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*