

*Д.А. Дивина, М.А. Петрашева\**

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА ТРЕТЬЕГО РОДА**

Важнейшими показателями качества изделий из полимерных материалов, применяемых для теплоизоляции, являются их теплопроводность, удельная теплоемкость, температуропроводность. Знание теплофизических характеристик, а также их зависимости от температуры позволит производителям изделий из полимерных материалов выбирать оптимальные режимы работы оборудования, снижая тем самым уровень брака, повышая уровень эффективности и конкурентоспособности производств, а разработчикам оборудования для производства изделий из полимерных материалов получить исходные данные для его проектировки. Кроме того, измерение теплофизических свойств зачастую необходимо при приемосдаточных и периодических испытаниях в отделах технического контроля. Однако широкому применению теплофизических приборов для оптимизации технологических процессов препятствует дефицит недорогих средств измерения, позволяющих определять с высокой точностью теплофизические характеристики, а также их зависимость от температуры.

Целью данной работы является создание методического, аппаратного и программно-алгоритмического обеспечения измерительной установки, позволяющей осуществлять экспериментальное определение теплофизических характеристик полимерных материалов методом

---

\* Работа представлена в отборочном туре программы У.М.Н.И.К. 2011 г. в рамках Шестой научной студенческой конференции «Проблемы ноосферной безопасности и устойчивого развития» ассоциации «Объединенный университет им. В.И. Вернадского» и выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «ТГТУ» С.В. Пономарева, канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» А.Г. Дивина.

регулярного режима третьего рода. В основу данной статьи положены подходы, изложенные в публикациях [1 – 2].

Для реализации этой цели необходимо определение, обоснование и решение следующих научно-технических задач:

- разработка метода измерения теплофизических характеристик полимерных материалов;
- разработка измерительной установки по определению зависимости теплофизических характеристик от температуры;
- математическое моделирование и проведение необходимых расчетов;
- разработка алгоритмического и программного обеспечения автоматизированной измерительной установки;
- определение действительных метрологических характеристик измерительной установки;
- разработка методов коррекции и введения поправок на дестабилизирующие факторы процесса измерения с целью улучшения метрологических характеристик.

Проблемой исследования теплофизических характеристик материалов занимались многие ученые, поэтому среди существующих способов был проведен поиск аналогичных способу, положенному в основу разрабатываемой измерительной установки.

Известен способ определения комплекса теплофизических свойств твердых материалов (пат. РФ № 2374631, кл. G 01 N 25/18, 2008), включающий тепловое импульсное воздействие на плоскую поверхность исследуемого образца и измерение избыточной температуры на плоской поверхности образца в одной точке в заданном интервале времени. Тепловое импульсное воздействие осуществляют лучистым тепловым потоком известной плотности и длительности, а измерение избыточной температуры с момента подачи теплового импульса проводят в центральной части нагреваемой поверхности образца. К недостаткам этого способа относятся невысокая точность измерения и необходимость специальной аппаратуры (инфракрасного излучателя и инфракрасного измерителя температуры).

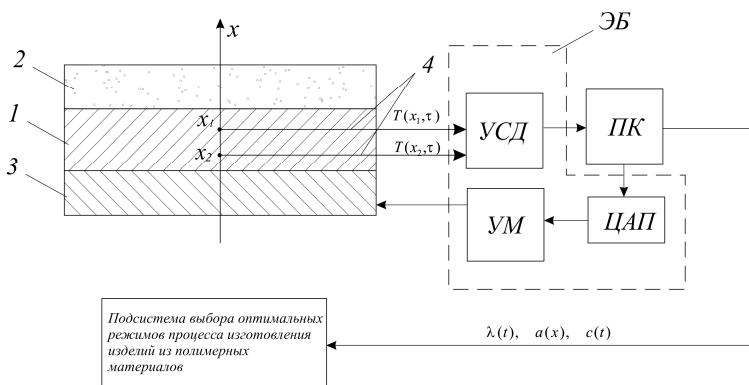
Также известен способ измерения температуропроводности и теплоемкости горных пород методом плоских температурных волн (Зиновьев В.Е., Бочаров В.И., Мулюков Р.Р. и др. Прибор для автоматизированных измерений теплофизических характеристик горных пород в условиях, близких к естественным // Измерительная техника. – 1985. – № 1. – С. 62 – 63), заключающийся в том, что тонкий малоинерционный нагреватель, задающий периодический нагрев, располагается между исследуемым образцом и эталонным образцом того же размера. Колебания температуры на противоположных от нагревателя поверхностях исследуемого образца и эталона регистрируются с помощью

термопар. Недостатками этого способа являются большая длительность и трудоемкость эксперимента, а также необходимость использования эталонного образца.

Наиболее близким техническим решением (прототипом) является способ измерения коэффициента температуропроводности методом регулярного режима третьего рода [1], заключающийся в том, что в исследуемом плоском образце размещают в сечениях с координатами  $x = x_1$  и  $x = x_2$  два датчика температуры, выполненные в виде термопар или термометров сопротивления. Образец, покрытый сверху теплоизоляцией, помещают на поверхность элемента Пельтье, с помощью которого в процессе эксперимента на рабочую поверхность исследуемого образца подают периодическое температурное воздействие. На протяжении всей активной стадии эксперимента регистрируют температуры  $T(x_1, \tau)$  и  $T(x_2, \tau)$  в точках с координатами  $x = x_1$  и  $x = x_2$ . После того, как установится регулярный режим третьего рода, измеряют расстояние  $(x_2 - x_1)$  и после обработки экспериментальных данных определяют амплитуды  $\vartheta_m(x_1)$  и  $\vartheta_m(x_2)$  гармонических колебаний в точках с координатами  $x = x_1$ ,  $x = x_2$  и величину времени запаздывания  $\bar{\tau}_3(x_2, x_1)$  гармонических колебаний в точке  $x = x_2$  по сравнению с точкой  $x = x_1$ . Искомый коэффициент температуропроводности  $a$  вычисляют по формуле  $a = (x_2 - x_1)^2 \tau_0 / 4\pi [\bar{\tau}_3(x_2, x_1)]^2$ , где  $\tau_0$  – период гармонических колебаний. Недостатком данного способа является невысокая точность измерения коэффициента температуропроводности исследуемого материала.

Техническая задача разрабатываемой измерительной установки (рис. 1) заключается в повышении точности измерения теплофизических характеристик полимерных материалов за счет выбора оптимальных режимных параметров теплофизического эксперимента.

Способ измерения теплофизических характеристик полимерных материалов методом регулярного режима третьего рода заключается в том, что в изготовленном плоском образце 1 исследуемого материала 2 размещают в сечениях с координатами  $x = x_1$  и  $x = x_2$  два датчика температуры, выполненные в виде термопар или термометров сопротивления. Образец, покрытый сверху теплоизоляцией, помещают на поверхность элемента Пельтье 3. На протяжении активной стадии эксперимента регистрируют температуры в двух точках исследуемого образца, измеряют расстояние  $(x_2 - x_1)$ , период гармонических колебаний  $\tau_0$  и время запаздывания  $\tau_3(x_2, x_1)$  гармонических колебаний на глубине  $x = x_2$  по сравнению с гармоническими колебаниями на поверхности  $x = x_1$  образца. Коэффициент температуропроводности  $a$  вычисляют по времени запаздывания  $\tau_3(x_2, x_1)$ , теплопроводность  $\lambda$  определяют как функцию отношения амплитуд  $\theta_m(x_1)/\theta_m(x_2)$ , а объемную теплоемкость по формуле  $c_p = \lambda/a$ .



**Рис. 1. Схема измерительной установки:**

1 – исследуемый образец; 2 – слой теплоизоляции; 3 – элемент Пельтье;  
 4 – датчики температуры; ЭБ – электронный блок;  
 УСД – устройство сбора данных; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь;  
 УМ – усилитель мощности; ПК – персональный компьютер

В отличие от прототипа, путем изменения периода  $\tau_0$  гармонических колебаний элемента Пельтье подбирают такой режим работы измерительного устройства, при котором погрешности измерения  $a$ ,  $\lambda$ ,  $c_p$  будут минимальны.

Применение элемента Пельтье позволит отказаться от использования жидкостных термостатов, что благоприятно скажется на уменьшении габаритов и массы измерительной установки.

При создании программного обеспечения измерительной установки будут использованы технологии компании National Instruments, что позволит реализовать идею за короткий срок и невысокую стоимость, а также даст возможность доступа к измерительной установке по каналам сети Интернет для проведения удаленных теплофизических измерений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические и практические основы теплофизических измерений / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин, В.А. Вертоградский, А.А. Чуриков ; под ред. С.В. Пономарева. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 408 с.

2. Пономарев, С.В. К вопросу о выборе оптимальных режимных параметров процесса измерения коэффициента температуропроводности теплоизоляционных материалов методом регулярного режима третьего рода / С.В. Пономарев, Д.А. Дивина, А.С. Щекочихин // Измерительная техника. – 2011. – № 12. – Принято к опубликованию.

*Кафедра «Управление качеством и сертификация»  
 ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*