

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ОПЕРАТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА СТАДИИ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА ВТОРОГО РОДА

П.В. Балабанов, А.С. Костров

*Кафедра «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;
pav-balabanov@yandex.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: метод измерения; повышение точности; погрешности измерения; теплофизические характеристики.

Аннотация: Дано краткое описание метода измерения теплопроводности и теплоемкости. Выведены расчетные формулы для теоретических оценок погрешностей измерения теплофизических свойств. Даны рекомендации по оптимальному проведению процессов измерения и обработки экспериментальных данных.

Обозначения и аббревиатуры

a – температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$;
 $ср$ – объемная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$;
 d, h – диаметр и толщина образца соответственно, м ;
 l – координата границы слоя, м ;
 q – тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
 R – сопротивление, Ом ;
 S – площадь, м^2 ;
 T, T_0 – температура и начальная температура соответственно, $^{\circ}\text{C}$;
 U – напряжение, В ;

W – мощность внутренних источников теплоты, $\text{Вт}/\text{м}^3$;
 x – пространственная координата;
 λ – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
 τ – время, с ;
ИЯ – измерительная ячейка;
ТФХ – теплофизические характеристики.

Индексы

1, 2, 3 – индексы, относящиеся к соответствующим слоям ИЯ.

Анализ современной ситуации в области теплофизического приборостроения показывает, что проблема повышения точности и оперативности методов измерения ТФХ была и остается актуальной. На стадии проектирования метода и средства измерения указанная проблема может быть решена путем определения рациональных конструктивных размеров ИЯ, а также режимных параметров проведения эксперимента [1]. Рассмотрим методику повышения точности и оперативности метода измерения ТФХ плоских образцов хемосорбентов [2] на стадии регулярного режима второго рода.

Метод измерения ТФХ. Для реализации метода используют ИЯ, физическая модель которой представляет многослойную систему (рис. 1), образованную шестью идентичными плоскими образцами (1, 1', 1'', 3, 3', 3''), между которыми расположены плоские нагревательные элементы (2, 5, 5', 4, 4'). Каждый нагревательный элемент представляет собой две тонкостенные металлические пластины, между которыми расположены нагреватель и измеритель температуры – манганиновая и медная проволоки, навитые по спирали Архимеда.

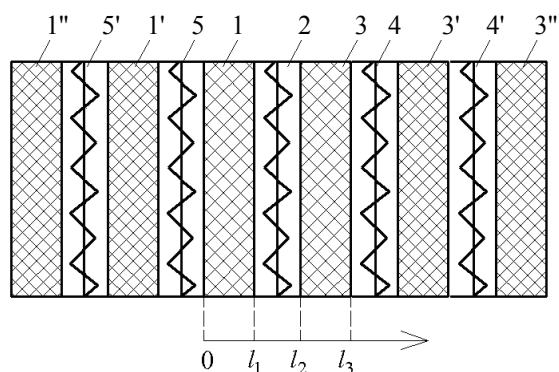


Рис. 1. Физическая модель ИЯ

Подобная симметричная схема позволяет сделать допущение, что электронагреватели элементов 5 и 4 выделяют в исследуемые образцы 1 и 3 одинаковые тепловые потоки

$$q_1 = q_2 = \frac{0,5U^2}{RS}.$$

Исследуемые образцы имеют форму плоских круглых дисков, для которых выполняется условие $h/d \approx 1/15 \dots 1/20$, что позволяет считать температурное поле внутри системы одномерным. В конструкции ИЯ используют специальные прижимные устройства, позволяющие уменьшать термические сопротивления на границах контакта образцов и нагревательных элементов. Также делается допущение о постоянстве ТФХ материалов слоев.

Краевая задача теплопереноса для слоев 1–3 (см. рис. 1) имеет вид [2]:

$$\frac{\partial \Theta(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = \beta(\bar{x}) \frac{\partial^2 \Theta(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2} + \overline{W}(\bar{x}), \quad 0 < \bar{x} < 1, \quad Fo > 0; \quad (1)$$

$$\Theta(\bar{x}, 0) = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Theta(0, Fo)}{\partial \bar{x}} = -\frac{\lambda_2}{\lambda_1}; \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Theta\left(\frac{l_i}{l_3} - 0, Fo\right) = \Theta\left(\frac{l_i}{l_3} + 0, Fo\right); \\ \lambda_i \frac{\partial \Theta\left(\frac{l_i}{l_3} - 0, Fo\right)}{\partial \bar{x}} = \lambda_{i+1} \frac{\partial \Theta\left(\frac{l_i}{l_3} + 0, Fo\right)}{\partial \bar{x}}, \quad i = \overline{1, 2}; \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Theta(1, Fo)}{\partial \bar{x}} = \frac{q_2 \lambda_2}{q_1 \lambda_3}, \quad (5)$$

где $\Theta(\bar{x}, Fo) = \frac{T(x, \tau) - T_0}{q_1 l_3 / \lambda_2}$ – безразмерная температура; $\bar{x} = x/l_3$ – безразмерная пространственная координата; $Fo = \frac{a_2 \tau}{l_3^2}$ – число Фурье; $\overline{W}(\bar{x})$ – функция распределения безразмерной мощности внутренних источников теплоты, определяемая при условиях $0 < \bar{x} < l_1/l_3$ и $l_2/l_3 < \bar{x} < 1$ как $\overline{W}(\bar{x}) = \overline{W}_1 = \overline{W}_3 = 0$, а при условии

$l_1/l_3 < \bar{x} < l_2/l_3$ – как $\bar{W}_2 = W_2 l_3 / q_1$; $\beta(\bar{x})$ – функция распределения безразмерного параметра, определяемого из выражений

$$\beta(\bar{x}) = \begin{cases} \beta_1 = a_1/a_2, & \text{при } 0 < \bar{x} < l_1/l_3; \\ \beta_2 = 1, & \text{при } l_1/l_3 < \bar{x} < l_2/l_3; \\ \beta_3 = a_3/a_2, & \text{при } l_2/l_3 < \bar{x} < 1. \end{cases}$$

На стадии регулярного режима второго рода решение задачи (1) – (5) имеет вид [2]

$$\Theta(\bar{x}, Fo) = AFo + F(\bar{x}), \quad (6)$$

где A – постоянный коэффициент; $F(\bar{x})$ – функции, определяемые по выражениям

$$F(\bar{x}) = \begin{cases} A \frac{a_2}{a_1} \frac{\bar{x}^2}{2} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \bar{x} + C_1, & \text{при } 0 < \bar{x} < l_1/l_3; \\ \left(A - \bar{W}_2 \right) \frac{\bar{x}^2}{2} + C_{21} \bar{x} + C_{22}, & \text{при } l_1/l_3 < \bar{x} < l_2/l_3; \\ A \frac{a_2}{a_3} \frac{\bar{x}^2}{2} - \left(-\frac{q_2}{q_1} \frac{\lambda_2}{\lambda_3} + A \frac{a_2}{a_3} \right) \bar{x} + C_3, & \text{при } l_2/l_3 < \bar{x} < 1, \end{cases}$$

причем, значения постоянных A , C_1 , C_{21} , C_{22} , C_3 определяются из граничных условий (3) – (5), а также из уравнения теплового баланса, записанного для многослойной системы.

В ходе эксперимента на внешние поверхности образцов 1 и 3 воздействуют постоянными тепловыми потоками q_1 , q_2 и контролируют безразмерную среднеинтегральную температуру $\bar{\Theta}_2 = \frac{\bar{T}_2 - T_0}{q l_3 / \lambda_2}$ второго слоя ИЯ (рис. 2), где \bar{T}_2 – температура, измеряемая термометром сопротивления, расположенным во втором слое. Начиная с момента времени Fo^* достижения в центре ИЯ регулярного режима второго рода, среднеинтегральная температура \bar{T}_2 и, как следствие, $\bar{\Theta}_2$ будут изменяться по линейному закону. Коэффициент A уравнения (6) имеет смысл тангенса угла наклона прямолинейного участка зависимости $\bar{\Theta}_2 = f(Fo)$ и определяется экспериментально.

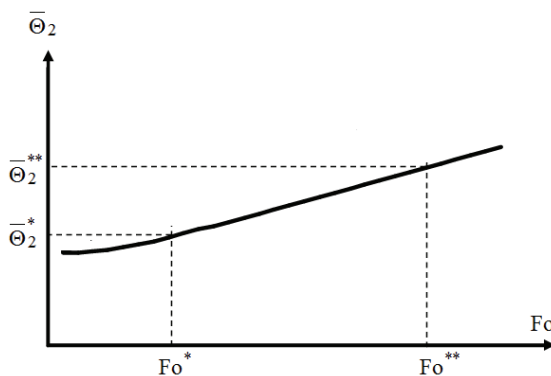


Рис. 2. График зависимости $\bar{\Theta}_2 = f(Fo)$

С учетом равенства теплофизических характеристик первого и третьего слоев системы введем обозначения $c_1\rho_1 = c_3\rho_3 = c_x\rho_x$, $\lambda_1 = \lambda_3 = \lambda_x$.

Для нахождения значений $c_x\rho_x$ и λ_x используются выражения [2]:

$$c_x\rho_x = c_2\rho_2 \frac{1 + \frac{W_2}{q_1}(l_2 - l_1) + \frac{q_2}{q_1}}{\frac{A}{(1 + l_1/l_3 - l_2/l_3)}}; \quad (7)$$

$$\lambda_x = -\frac{K_1 + K_2}{\chi + K_3 + K_4 + K_5}, \quad (8)$$

где

$$K_1 = c_x\rho_x l_1 q_1 \left[-\frac{1}{3} A \frac{\lambda_2 c_x\rho_x}{c_2\rho_2} \left(\frac{l_1}{l_3} \right)^2 + \frac{1}{2} \lambda_2 \frac{l_1}{l_3} \right];$$

$$K_2 = \left[\frac{1}{6} A \frac{\lambda_2 c_x\rho_x}{c_2\rho_2} \left(\frac{1 - (l_2/l_3)^3}{1 - l_2/l_3} \right) + \frac{1}{2} \lambda_2 \left(\frac{1 - (l_2/l_3)^2}{1 - l_2/l_3} \right) \left(\frac{q_2}{q_1} - A \frac{c_x\rho_x}{c_2\rho_2} \right) - \right. \\ \left. - \frac{1}{2} A \frac{\lambda_2 c_x\rho_x}{c_2\rho_2} \left(\frac{l_2}{l_3} \right)^2 - \frac{q_2}{q_1} \frac{l_2}{l_3} \lambda_2 + A \frac{l_2}{l_3} \frac{\lambda_2 c_x\rho_x}{c_2\rho_2} \right] c_x\rho_x (l_3 - l_2) q_1;$$

$$\chi = \left\{ \bar{\Theta}_2 - A Fo - \frac{1}{6} (A - \bar{W}_2) \left(\frac{(l_2/l_3)^3 - (l_1/l_3)^3}{l_2/l_3 - l_1/l_3} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{(l_2/l_3)^2 - (l_1/l_3)^2}{l_2/l_3 - l_1/l_3} \right) \right\} \times \\ \times \left[A \frac{c_x\rho_x}{c_2\rho_2} \frac{l_1}{l_3} - 1 - (A - \bar{W}_2) \frac{l_1}{l_3} \right] [c_x\rho_x l_1 q_1 + c_2\rho_2 (l_2 - l_1) q_1 + c_x\rho_x (l_3 - l_2) q_1];$$

$$K_3 = \Pi_2 \Pi_6;$$

$$\Pi_6 = \frac{1}{6} (A - \bar{W}_2) \left(\frac{(l_2/l_3)^3 - (l_1/l_3)^3}{l_2/l_3 - l_1/l_3} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{(l_2/l_3)^2 - (l_1/l_3)^2}{l_2/l_3 - l_1/l_3} \right) \times \\ \times \left[\frac{c_x\rho_x}{c_2\rho_2} A \frac{l_1}{l_3} - 1 - (A - \bar{W}_2) \frac{l_1}{l_3} \right];$$

$$K_4 = c_x\rho_x l_1 q_1 \left[\frac{1}{2} (A - \bar{W}_2) \left(\frac{l_1}{l_3} \right)^2 + A \left(\frac{l_1}{l_3} \right)^2 \frac{c_x\rho_x}{c_2\rho_2} - \frac{l_1}{l_3} - (A - \bar{W}_2) \left(\frac{l_1}{l_3} \right) \right];$$

$$K_5 = c_x\rho_x (l_3 - l_2) q_1 \left[\frac{1}{2} (A - \bar{W}_2) \left(\frac{l_2}{l_3} \right)^2 + A \frac{l_1 l_2}{l_3^2} \frac{c_x\rho_x}{c_2\rho_2} - \frac{l_2}{l_3} - (A - \bar{W}_2) \frac{l_1 l_2}{l_3^2} \right];$$

$$\Pi_2 = c_2\rho_2 (l_2 - l_1) q_1.$$

Методика повышения точности и оперативности измерения ТФХ.

Для достижения цели повышения точности и оперативности описанного выше метода измерения необходимо определить:

- 1) момент времени Fo^* достижения в центре ИЯ регулярного режима второго рода;
- 2) момент времени Fo^{**} прекращения эксперимента;
- 3) рациональные значения мощности нагревательных элементов ИЯ.

Поставленные выше задачи решаются в следующей последовательности.

1. Применяя традиционные подходы теории погрешностей измерений [1, 3] к расчетным выражениям (7) и (8), получают формулы для вычисления среднеквадратичных погрешностей измерения объемной теплоемкости

$$\left(\frac{\Delta c_x \rho_x}{c_x \rho_x} \right)_{\text{СК}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta c_2 \rho_2}{c_2 \rho_2} \right)^2 + \frac{1}{F_1^2} E_1 + \frac{1}{F_2^2} E_2}, \quad (9)$$

и теплопроводности

$$\left(\frac{\Delta \lambda_x}{\lambda_x} \right)_{\text{СК}} = \sqrt{\frac{1}{F_3^2} E_3 + \frac{1}{F_4^2} E_4}, \quad (10)$$

где

$$F_1 = \frac{1}{A} + \frac{W_2}{q_1 A} (l_2 - l_1) + \frac{q_2}{q_1} \frac{1}{A} + \frac{l_1}{l_3} - \frac{l_2}{l_3}; \quad F_2 = 1 + \frac{l_1}{l_3} - \frac{l_2}{l_3}; \quad F_3 = -(K_1 + K_2);$$

$$F_4 = \chi + K_3 + K_4 + K_5; \quad E_2 = \left[\frac{\partial F_2}{\partial l_1} \Delta l \right]^2 + \left[\frac{\partial F_2}{\partial l_2} \Delta l \right]^2 + \left[\frac{\partial F_2}{\partial l_3} \Delta l \right]^2,$$

а выражения для E_1 , E_3 и E_4 приведены, по причине их громоздкости, в общем виде:

$$E_1 = \sum_{i=1}^7 \left[\frac{\partial F_1}{\partial x_i} \Delta x_i \right]^2, \quad E_3 = \sum_{i=1}^9 \left[\frac{\partial F_3}{\partial y_i} \Delta y_i \right]^2, \quad E_4 = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{\partial F_4}{\partial z_i} \Delta z_i \right]^2,$$

причем в качестве переменных x_i , y_i , z_i используют переменные из рядов:

$$x_i = [q_1; q_2; W_2; l_1; l_2; l_3; A];$$

$$y_i = [c_x \rho_x; q_1; q_2; c_2 \rho_2; l_1; l_2; l_3; \lambda_2; A];$$

$$z_i = [c_x \rho_x; q_1; q_2; c_2 \rho_2; l_1; l_2; l_3; \lambda_2; A; W_2; \bar{\Theta}_2; \text{Fo}].$$

При практическом применении метода измерения к нагревателю, расположенному в слое 2, мощность не подводится ($\bar{W}_2 = 0$), а на внешние поверхности образцов 1 и 3 воздействуют постоянными тепловыми потоками равной мощности $q_1 = q_2 = q$. Для обеспечения равенства тепловых потоков q_1, q_2 используют образцы 1', 1'', 3', 3'' удвоенной толщины.

При условии $q_1 = q_2 = q$ значение параметра A можно определить (см. рис. 2) по формуле

$$A = \frac{\bar{\Theta}_2^{**} - \bar{\Theta}_2^*}{\text{Fo}^{**} - \text{Fo}^*} = \frac{l_3 c_2 \rho_2}{q} \frac{\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^*}{\tau^{**} - \tau^*},$$

из которой легко получить формулу для оценки среднеквадратичной погрешности определения указанного параметра

$$\left(\frac{\Delta A}{A} \right)_{\text{СК}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{l_3} \right)^2 + \left(\frac{\Delta c_2 \rho_2}{c_2 \rho_2} \right)^2 + \left(\frac{\Delta q}{q} \right)^2 + \left(\frac{2 \Delta T}{\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^*} \right)^2 + \left(\frac{2 \Delta \tau}{\tau^{**} - \tau^*} \right)^2}. \quad (11)$$

2. Задаются геометрическими размерами слоев ИЯ, свойствами слоев, значением теплового потока q , абсолютными погрешностями указанных величин, а также абсолютными погрешностями измерения температур и времени и по выражениям (9), (11) рассчитывают зависимость $\left(\frac{\Delta c_x \rho_x}{c_x \rho_x}\right)_{\text{СК}} = f(\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^*)$ (рис. 3).

Для получения показанной зависимости в расчетах использовались следующие значения: $l_1 = 3$ мм, $l_2 = 4$ мм, $l_3 = 7$ мм; в качестве ТФХ слоев 1, 3 взяты свойства полиметилметакрилата, слоя 2 – алюминия; $W_2 = 0$; $q = 260$ Вт/м². Абсолютные погрешности: измерения толщин слоев $\pm 0,05$ мм; температур $\pm 0,1$ °С; мощности теплового потока ± 14 Вт/м² (оценивалась исходя из погрешностей измерения напряжений, подводимых к нагревателям, и сопротивлений нагревателей).

На рисунке 3 видно, что погрешность определения удельной теплоемкости будет минимальной при условии $\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^* = 6 \dots 10$ °С. При $\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^* > 10$ погрешность $\left(\frac{\Delta c_x \rho_x}{c_x \rho_x}\right)_{\text{СК}}$ возрастает вследствие увеличения утечек теплоты, а также из-за появления нелинейностей в задаче теплопереноса (1) – (5) (при больших перепадах температур допущение о постоянстве ТФХ будет несправедливым).

Следует также учесть, что за период времени $[0; \tau^*]$, который соответствует времени достижения в центре ИЯ регулярного режима, многослойная система дополнительно нагреется до некоторой температуры $\Delta T^* = \bar{T}_2^* - T_0$. Потребуем, чтобы за весь эксперимент перепад температур $\bar{T}_2^{**} - T_0$ не превысил 10 °С. Если эксперимент заканчивать в момент времени τ^{**} (и соответствующий ему момент безразмерного времени Fo^{**}), при котором выполняется условие $\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^* \approx 6 \dots 7$ °С, то с учетом

$$\bar{T}_2^{**} - T_0 = (\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^*) + \Delta T^*$$

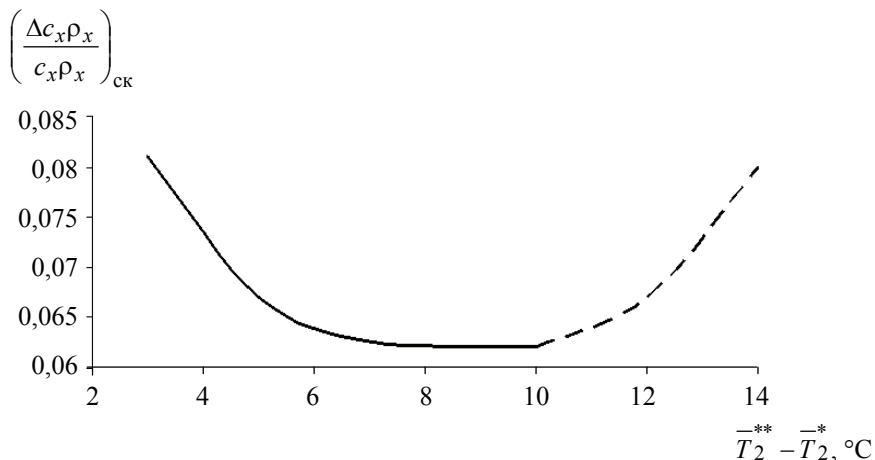


Рис. 3. График зависимости $\left(\frac{\Delta c_x \rho_x}{c_x \rho_x}\right)_{\text{СК}} = f(\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^*)$

получим $\Delta T^* \approx 3...4$ °С. Величина ΔT^* существенно зависит от мощности нагревательных элементов ИЯ. Задаваясь толщиной и свойствами слоев измерительной ячейки, путем численного моделирования отыскивают рациональные значения мощности нагревателей ИЯ, при которых будет выполняться условие $\Delta T^* \approx 3...4$ °С.

3. Определяют момент времени Fo^* достижения в центре ИЯ регулярного режима второго рода, который зависит, в том числе, от толщины исследуемых образцов

$$Fo^* = a_2 \tau_{пл}^* / l_3^2, \quad (12)$$

где $\tau_{пл}^*$ – время достижения регулярного режима в центре пластины толщиной $2l_3$, выполненной из материала, свойства $a_{пл}$ которого близки по свойствам к исследуемым образцам. Причем $\tau_{пл}^*$ определяется из выражения

$$\tau_{пл}^* = \frac{0,45}{a_{пл}} \left(\frac{l_3}{2} \right)^2. \quad (13)$$

Таким образом, при определении значения Fo^* , в зависимости от толщины исследуемых образцов по формуле (13) вычисляют время $\tau_{пл}^*$ достижения регулярного режима второго рода в центре пластины, причем в качестве $a_{пл}$ в расчетах используют температуропроводность материала, близкого по свойствам к исследуемому (например, при измерениях ТФХ регенеративных продуктов в качестве $a_{пл}$ используют температуропроводность полиметилметакрилата). Вычисляют Fo^* по формуле (12).

Таким образом, методика проведения эксперимента и обработки экспериментальных данных, обеспечивающая повышение точности и оперативности измерения ТФХ, может быть представлена в виде последовательности следующих операций.

1. Десять идентичных исследуемых образцов помещают в ИЯ, составляя многослойную систему (см. рис. 1) таким образом, что толщина слоев 1', 1'', 3', 3'' должна быть в два раза больше, чем слоев 1 и 3.

2. Определяют $\tau_{пл}^*$ по формуле (13) и Fo^* по формуле (12).

3. Термостатируют ИЯ при температуре T_0 .

4. Подводят постоянное напряжение к нагревателям ИЯ и измеряют с постоянным шагом во времени температуру \bar{T}_2 , вычисляют Fo .

5. При $Fo = Fo^*$ регистрируют \bar{T}_2^* и продолжают нагрев образцов до температуры \bar{T}_2^{**} и соответствующего ей момента времени Fo^{**} . При условии $\bar{T}_2^{**} - \bar{T}_2^* \approx 6...7$ °С прекращают эксперимент.

6. В интервале $[Fo^*; Fo^{**}]$ вычисляют безразмерные температуры $\bar{\Theta}_2$.

7. Вычисляют $A = \frac{\bar{\Theta}_2^{**} - \bar{\Theta}_2^*}{Fo^{**} - Fo^*}$.

8. Вычисляют ТФХ по формулам (7), (8).

Выводы. С целью повышения точности и оперативности измерения теплопроводности и объемной теплоемкости плоских образцов исследуемого материала на стадии регулярного режима второго рода необходимо использовать экспериментальные данные, полученные в интервале безразмерного времени $[Fo^*; Fo^{**}]$. При определении граничных точек указанного интервала учитывают геометрические размеры исследуемых образцов и конструкционных элементов измерительной ячейки, мощности нагревательных элементов, теплофизические характеристики материалов, из которых изготавливают ИЯ.

Список литературы

1. Пономарев, С.В. Оценка погрешностей измерения теплофизических свойств твердых материалов / С.В. Пономарев, П.В. Балабанов, А.В. Трофимов // Измер. техника. – 2004. – № 1. – С. 44–47.
2. Балабанов, П.В. Метод и устройство для измерения теплофизических свойств образцов регенеративного продукта на матрице при нагреве их постоянным тепловым потоком / П.В. Балабанов, С.В. Пономарев, Е.Н. Балабанова // Измер. техника. – 2009. – № 5. – С. 49–53.
3. Теоретические и практические основы теплофизических измерений / под ред. С.В. Пономарева. – М. : Физматлит, 2008. – 408 с.

The Procedure of Increasing the Accuracy and Operational Measurement of Thermo-Physical Properties on the Stage of Regular Mode of the Second Kind

P.V. Balabanov, A.S. Kostrov

*Department "Quality Management and Certification", TSTU;
pav-balabanov@yandex.ru*

Key words and phrases: increasing the accuracy; measurements errors; method of investigation; thermo-physical properties.

Abstract: A brief description of thermal conductivity and thermal diffusivity of the measuring technique is presented. The formulas for theoretical estimation of measurements errors of thermo-physical properties are obtained. The recommendations for optimal implementation of the measurement process and for follow-up processing of experimental data are delivered.

Methodik der Erhöhung der Genauigkeit und der Schnelligkeit der Messung der thermophysikalischen Charakteristiken am Stadium des regelmäßigen Regimes der zweiten Art

Zusammenfassung: Es ist die kurze Beschreibung der Methode der Messung der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität angegeben. Es sind die Berechnungsformel für die theoretischen Einschätzungen der Fehler der Messungen der thermophysikalischen Eigenschaften aufgestellt. Es sind die Empfehlungen für die optimalen Durchführung der Prozesse der Messung und der Bearbeitung der Experimentalangaben angegeben.

Мéthode de l'augmentation de la qualité et de la rapidité de la mesure des caractéristiques thermophysiques au stade du régime régulier du deuxième ordre

Résumé: Est donnée une brève description de la méthode de la mesure du transfert de chaleur et de la capacité thermique. Sont déduites les formules pour les appréciations théoriques des erreurs de la mesure des caractéristiques thermophysiques. Sont données les recommandations sur la réalisation optimale des processus de la mesure et du traitement des données expérimentales.

Авторы: *Балабанов Павел Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление качеством и сертификация»; *Костров Антон Сергеевич* – магистрант кафедры «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Пономарев Сергей Васильевич* – доктор технических наук, профессор, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
