

К ВОПРОСУ О КОМПЛЕКСНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Л. Г. ФУКС, В. Н. ШМАНДИНА

(Представлена кафедрой теоретической и общей теплотехники)

В настоящее время известен целый ряд методов, позволяющих проводить одновременное определение теплофизических параметров. Особая ценность таких экспериментов состоит в том, что объектом исследований служит один и тот же образец, о котором в одном опыте получается достаточно широкая информация.

Определение объемной теплоемкости $c\rho$ (c — теплоемкость, ρ — плотность), коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности a в большинстве способов производится комплексно. Обычно два из этих параметров определяются в опыте, а третий находится из уравнения связи

$$\lambda = ac\rho. \quad (1)$$

Иногда в число определяемых параметров включается коэффициент тепловой активности

$$b = \sqrt{\lambda c\rho}. \quad (2)$$

Тогда любой из трех параметров может быть найден расчетом из соотношений (1) и (2).

При использовании этих методов нет возможности контроля и проверки получаемых величин, и ошибки в определении двух опытных параметров переносятся на расчетный.

Очень желательным представляется опыт, в котором одновременно и независимо определяются три теплофизических параметра, между которыми существуют связи (1) и (2). В этом случае по последним можно проверить результат опыта, а также получить представление о возможных ошибках эксперимента.

Для одновременного определения комплекса параметров нами разработан способ, основанный на методике, изложенной в [1]. По этой методике из двух определений температур в известный промежуток времени на модели полуограниченного тела находится коэффициент температуропроводности, а затем и коэффициент теплопроводности по известному и постоянному тепловому потоку.

Расчетное соотношение метода (1) имеет вид:

$$\vartheta(x, \tau) = \frac{2b\sqrt{a\tau}}{\lambda} \operatorname{ierfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}}. \quad (3)$$

Здесь $\vartheta(x, \tau)$ — превышение температуры, q — плотность теплового потока, τ — время, x — расстояние от нагревателя до точки измерения, a — коэффициент температуропроводности, λ — коэффициент теплопроводности.

Возьмем производную от температуры по времени:

$$\vartheta'(x, \tau) = \frac{q}{c_p \sqrt{\pi a \tau}} \exp\left(-\frac{x^2}{4a\tau}\right), \quad (4)$$

где c_p — объемная теплоемкость.

Наиболее точно в опыте определяется величина производной в точке перегиба, где

$$\vartheta''(x, \tau) = 0.$$

Это условие дает число Фурье для точки перегиба

$$Fo = \frac{a\tau}{x^2} = \frac{1}{2}, \quad (5)$$

а зависимость (4) после преобразований с учетом (5) может быть записана в виде:

$$c_p = \frac{2q}{x \sqrt{2\pi e} \vartheta'(x, \tau_{\text{пер}})}. \quad (6)$$

Здесь $\vartheta'(x, \tau_{\text{пер}})$ — значение производной в точке перегиба.

Для проверки методики был поставлен опыт по одновременному определению теплофизических параметров.

В качестве испытуемого материала был выбран хорошо изученный плексиглас. Образец представлял собой цилиндрическое тело диаметром 29 мм и длиной 60 мм, в котором на расстоянии $x=2,75$ мм от нагревателя заложена измерительная медь-константановая термопара. Плоский нагреватель, намотанный из константановой проволоки диаметром 0,1 мм, имел сопротивление 28,2 ом и поверхность 1156 мм². Для нагрева использовался постоянный ток от аккумулятора. Измерение тока производилось амперметром типа М502 класса 0,1. э.д.с. термопары по гальванометру и электросекундомеру фиксировались одновременно фотографическим способом.

Результаты замеров температур в одном из опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость температур от времени

№ отсчета	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
τ сек	31,42	34,92	38,66	41,54	44,9	47,48	50,22	53,36	55,86	58,42	61,26	63,57
ν °C	1,45	1,72	1,99	2,19	2,44	2,62	2,81	3,04	3,21	3,39	3,50	3,75

Плотность теплового потока в опыте была $q=787$ вт/м², измерения проводились при температуре 22°С.

Выбрав 1 и 11 отсчеты температур (с отношением $\frac{\tau_2}{\tau_1} = 1,95 \approx 2$), имеем

$$a = 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{сек},$$

$$\lambda = 0,196 \text{ вт/м град.}$$

Отсюда расчетом получаем $c_p = 1,90 \cdot 10^6$ дж/м³ град.

Из условия (5) находим, что точке перегиба соответствует время

$$\tau_{\text{пер}} = \frac{x^2 Fo}{a} = \frac{(2,75 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,5}{1,03 \cdot 10^{-7}} \approx 37 \text{ сек.}$$

Величина производной, определенная в этой точке по отсчетам 1—4, будет

$$\theta'(x, \tau_{\text{пер}}) = 0,0725^\circ\text{C/сек.}$$

Подставляя найденное значение производной в (6), получим

$$c_p = 1,91 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3 \cdot \text{град}$$

Незначительное расхождение между величинами объемной теплоемкости подтверждает корректность и надежность полученных в опыте значений теплофизических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Б. Вержинская, Л. Н. Новиченок, ИФЖ, № 9, 1960.