

А.В. Чернышов

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРЕХСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С БЕСКОНТАКТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ СЛОЕВ

Для решения задач экономии топливноэнергетических ресурсов в строительстве, т.е. задач энергосбережения, необходимо определение теплотехнических характеристик (в основном сопротивление теплопередаче и теплопотерям) наружных ограждающих конструкций: стеновых панелей, стыковых соединений, элементов кровли, полов и т.д. Поэтому разработка и внедрение методов и технических средств оперативного неразрушающего контроля (НК), обеспечивающих определение теплофизических характеристик многослойных (трехслойных) наружных ограждающих конструкций и изделий, является весьма актуальными как в строительстве, так и других отраслях народного хозяйства.

В статье предлагается метод оперативного НК теплофизических свойств (ТФС) трехслойных изделий, например, конструкций стеновых панелей в реальных условиях их эксплуатации. Суть разработанного метода заключается в следующем.

В начале определяют ТФС наружных слоев конструкций, для чего над одним из исследуемых наружных слоев изделия *1* помещают точечный источник тепловой энергии *2* (лазер) и термоприемник *3* (рис. 1), сфокусированный на поверхность, подверженную тепловому воздействию, и регистрирующий температуру этой поверхности по ее электромагнитному излучению. Первоначально термоприемник фокусируют в точку поверхности первого наружного слоя исследуемого объекта, находящуюся на расстоянии R_1 от центра пятна нагрева и начинают перемещение источника энергии и термоприемника (измерительной головки) над исследуемым изделием со скоростью V . Осуществляют изменение частоты подачи тепловых импульсов от источника тепла (лазера) прерыванием луча фотозатвором *4* до тех пор, пока измеряемая термоприемником *3* избыточная температура в контролируемых точках поверхности исследуемого объекта станет равной заданному значению $T_{1зад}$, т.е. $T(R_1) = T_{1зад}$, при этом фиксируется установившаяся частота подачи тепловых импульсов от источника F_{x1} . Далее термоприемник фокусируют в точку поверхности исследуемого объекта, находящуюся на расстоянии R_2 от центра пятна нагрева. Аналогично вышеописанным процедурам осуществляется изменение частоты подачи тепловых импульсов от источника тепла до тех пор, пока

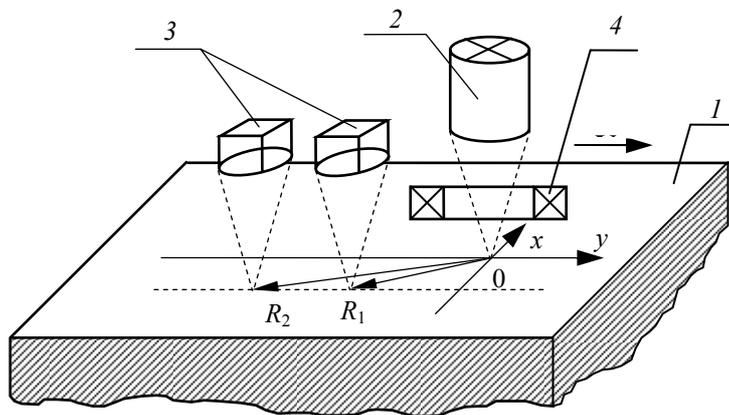


Рис. 1 *Схема бесконтактного контроля ТФС наружных слоев конструкций*

контролируемая термоприемником избыточная температура на расстоянии R_2 станет равной заданному значению $T_{1\text{зад}}$, т.е. $T(R_2) = T_{1\text{зад}}$, при этом фиксируется установившаяся частота подачи тепловых импульсов от источника F_{x2} .

Величина избыточной температуры $T_{1\text{зад}}$ задается в диапазоне 30...50 % от температуры термодеструкции исследуемого материала, а изменение частоты подачи тепловых импульсов от источника тепла в процессе теплофизического эксперимента осуществляют в соответствии с зависимостью

$$\Delta F_i = K_1 \Delta T_i + \frac{1}{K_2} \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} \Delta T(\tau) d\tau + K_3 \left. \frac{d[\Delta T_i(\tau)]}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_i},$$

где $\Delta T(\tau) = T_{1\text{зад}} - T(\tau)$ – разность между наперед заданным значением и текущим значением контролируемой температуры; $\Delta T_i = T_{1\text{зад}} - T(\tau)$ – разность между заданной и текущей температурой в моменты времени τ_i , $K_i (i = 1...3)$ – коэффициенты пропорциональности, задаваемые перед началом эксперимента.

Таким образом, определив установившуюся частоту подачи тепловых импульсов источника тепла F_{x1} и F_{x2} , при которых значения контролируемых избыточных температур в точках R_1 и R_2 соответственно равны наперед заданному значению $T_{1\text{зад}}$, искомые ТФС первого наружного слоя изделия можно определить по зависимостям, полученным на основании решения краевой задачи теплопроводности при воздействии движущегося точечного источника тепла на полубесконечное в тепловом отношении тела и изложенного выше алгоритма измерения. При этом для определения коэффициента температуропроводности получено соотношение в виде

$$a = \frac{V(R_1 - R_2)}{2 \ln \frac{F_{x1} R_1}{F_{x2} R_2}}, \quad (1)$$

а искомый коэффициент теплопроводности определяется по формуле

$$\lambda = \frac{F_{x1} q_{\text{имп}}}{2\pi T(R_1) R_1} \exp\left(-\frac{V(R_1 - x)}{2a}\right), \quad (2)$$

где $q_{\text{имп}}$ – количество тепла, выделяемое одним тепловым импульсом.

Для определения ТФС второго наружного слоя конструкции измерительную головку (лазер и термоприемник) фокусируют на поверхность второго слоя, осуществляют вышеизложенные измерительные процедуры и, определив частоты импульсов F_{x1} и F_{x2} , по соотношениям (1) и (2) рассчитывают искомые ТФС второго наружного слоя.

Для определения ТФС материалов внутреннего слоя конструкции на каждую из наружных поверхностей многослойной конструкции (рис. 2) устанавливаются по одному зонду, в плоскости контакта первого из которых расположены дисковый нагреватель ДН, а также термопара Tn_1 , помещенная в центр контактной плоскости дискового нагревателя. В плоскости контакта второго термозонда расположены датчик теплового потока Tq , а в центре круга датчика теплового потока вмонтирована вторая термопара Tn_2 . Нагреватель и термопара первого зонда закрыты по внешней от контактной плоскости стороне теплоизоляционным материалом типа рипора или асбеста, обеспечивая направленное движение теплового потока на наружную поверхность конструкции и препятствуя теплообмену в других направлениях, тем самым создаются условия реализации адиабатического режима нагрева.

Включают дисковый нагреватель ДН и осуществляют подвод к поверхности конструкции удельного теплового потока через круг до тех пор, пока на противоположной поверхности конструкции появится тепловой поток. Измеряют при этом величину установившегося теплового потока q_x , а также температуру в плоскостях 1 и 4 (T_1 и T_4) (рис. 2) с помощью термпар Tn_1 и Tn_2 , а искомую теплопроводность внутреннего слоя определяют по соотношению, полученному с использованием электротепловой аналогии [1] для трехслойной теплофизической системы и имеющей вид

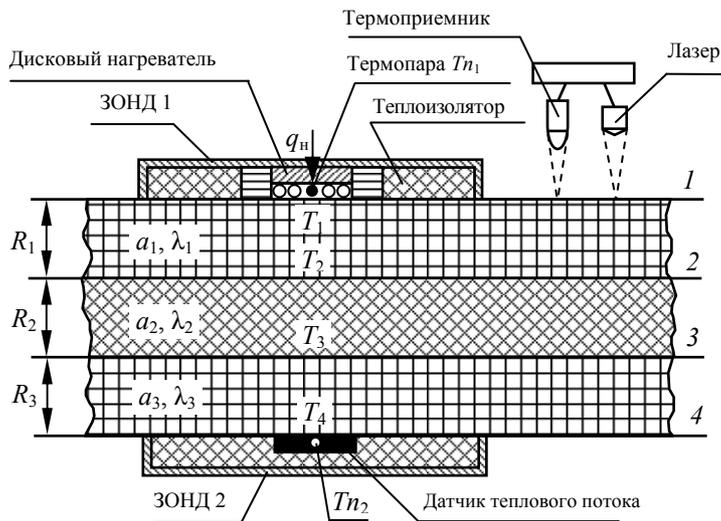


Рис. 2 Схема контроля ТФС внутреннего слоя

$$\lambda_2 = \frac{q_x R_2}{(T_2 - T_3)} = \frac{q_x R_2}{\left(T_1 - q_x \frac{R_1}{\lambda_1}\right) \left(T_4 - q_x \frac{R_3}{\lambda_3}\right)}, \quad (3)$$

где λ_1 и λ_3 измеренные ранее коэффициенты теплопроводности 1-го и 3-го наружных слоев конструкций, имеющих толщину R_1 и R_3 .

Температуропроводность внутреннего слоя конструкции определяется из аналитического решения [2], описывающего распределение температуры по толщине R_2 слоя материала во времени, имеющем вид

$$T_2 - T_3 = \Delta T(R_2, \tau) = \frac{2q_x}{\lambda} \sqrt{a_2 \tau} \operatorname{ierfc} \left(\frac{R_2}{2\sqrt{a_2 \tau}} \right). \quad (4)$$

Имея информацию о λ и q_x и используя известные подробные таблицы для определения функции кратного интеграла вероятности $\operatorname{ierfc} z$, численным методом из выражения (4) легко определить искомый коэффициент температуропроводности a_2 .

Проведенные теплофизические эксперименты на трехслойных конструкциях со слоями из материалов с известными ТФС показали работоспособность предложенного метода НК и корректность основных теоретических выводов, положенных в основу создания этого метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа, 1984. 247 с.
- 2 Козлов В.П. Двумерные осесимметричные нестационарные задачи теплопроводности / Под ред. А.Г. Шашкова. Минск: Наука и техника, 1986. 392 с.