

*Д. Ю. Остроухов**

СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Разработан эффективный метод измерения теплофизических свойств (ТФС) строительных материалов и изделий, реализуемый адаптивной информационно-измерительной системой (ИИС). Суть метода заключается в бесконтактном тепловом воздействии на исследуемые образцы посредством движущегося точечного источника СВЧ-энергии. В ходе эксперимента регистрируются интегральные по расстоянию от источника тепла до термоприемников значения избыточных температур поверхности исследуемых объектов, прямо пропорциональные величине тепловых потерь в окружающую среду от конвективного теплообмена [1 – 3].

Контролируемое температурное поле (ТП) по оси X термоприемником ПИП1 $T_{изм1}(x)$ и контролируемое ТП термоприемником ПИП2 $T_{изм2}(R, x)$ определяются следующими соотношениями [4]:

$$T_{изм1}(x) = \frac{q}{2\pi\lambda x_{изм1}}, \quad (1)$$

$$T_{изм2}(R, x) = \frac{q}{2\pi\lambda R_{изм1}} \exp\left[-\frac{V_1(R_{изм1} - x_{изм2})}{2a}\right], \quad (2)$$

где $x_{изм2}$ – расстояние между точкой теплового воздействия от СВЧ источника до проекции точки на расстоянии $R_{изм1}$ на линию X , λ , a – коэффициенты тепло- и температуропроводности исследуемого объекта.

Для определения теплопроводности увеличивают скорость перемещения источника тепла и термоприемника на 10...20% от V_1 . Далее фокусируют термоприемник ПИП2 в точку теплового воздействия и перемещают ПИП2 в сторону удаления от движущегося точечного источника тепла до момента времени, когда контролируемое интегральное значение избыточной температуры $S3$ по расстоянию $R_{изм2}$ станет равным $S2$. Затем определяют проекцию точки $R_{изм2}$ на ось X и измеряют $x_{изм3}$. Контролируемое температурное поле $T_{изм3}(R, x)$ термоприемником ПИП2 движущимся с увеличенной скоростью V_2 определяется соотношением:

* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора ФГБОУ ВО «ТГТУ» В. Н. Чернышова.

$$T_{\text{изм3}}(R, x) = \frac{q}{2\pi\lambda R_{\text{изм2}}} \exp\left[-\frac{V_2(R_{\text{изм2}} - x_{\text{изм3}})}{2a}\right], \quad (3)$$

где $x_{\text{изм3}}$ – расстояние между точкой теплового воздействия от СВЧ источника до проекции точки на расстоянии $R_{\text{изм3}}$ на линию X .

Проведя ряд несложных математических преобразований выражений (1) и (2), температуропроводность можно определить по соотношению:

$$a = \frac{V_1(R_{\text{изм1}} - x_{\text{изм2}})}{2\ln\left(\frac{T_{\text{изм1}}x_{\text{изм1}}}{T_{\text{изм2}}R_{\text{изм1}}}\right)}. \quad (4)$$

Проведя ряд несложных математических преобразований выражений (2) и (3), получаем формулу для определения теплопроводности:

$$\lambda = \frac{q}{2\pi\Delta T} \left(\frac{1}{R_{\text{изм2}}} \exp\left[\frac{V_2(R_{\text{изм2}} - x_{\text{изм3}})}{2a}\right] - \frac{1}{R_{\text{изм1}}} \exp\left[\frac{V_1(R_{\text{изм1}} - x_{\text{изм2}})}{2a}\right] \right), \quad (5)$$

где ΔT – разность между $T_{\text{изм3}}(R, x)$ и $T_{\text{изм2}}(R, x)$.

Для реализации предложенного метода неразрушающего контроля ТФС материалов разработана ИИС, блок-схема которой представлена на рис. 1.

Над исследуемым материалом *1* помещают точечный источник тепловой СВЧ-энергии *2* и бесконтактный термоприемник *3*, сфокусированные на линию X . Бесконтактный термоприемник *4* сфокусирован на поверхность на линии R , направленную под углом α к линии X . При этом с помощью линзы из радиопрозрачного материала *5* (фторопласт) излучение фокусируют в точку теплового воздействия *6*. Значения температур с термоприемников *3* и *4* поступают на нормирующий прецизионный усилитель *7* и через АЦП *8* поступают на компьютер *9*, который соединен с СВЧ-генератором *2* через блок управления *10* и блок питания СВЧ источника *11*. В компьютер *9* через его порт (клавиатура) *12* вводятся исходные данные ($T_{\text{зад}}$, V_1 , q). Датчики *13* положения термоприемников *3* и *4* определяют расстояния между точечным источником тепла и термоприемниками и через АЦП *14* передает данные в компьютер *9*. Блок управления реверсивным двигателем *15* подключен к компьютеру *9* и к блоку питания *16*, который, в свою очередь, подключен к реверсивному двигателю *17*, выходы которого соединены с механизмами перемещения *18* термоприемников *3* и *4*.

Перемещение всего измерительного зонда, состоящего из точечно-источника тепла *2* и термоприемников *3* и *4* над поверхностью исследуемых материалов с заданной скоростью V_1 осуществляется двигателем постоянного тока *19* через механизм перемещения *20*, который кинематически связан с измерительным зондом.

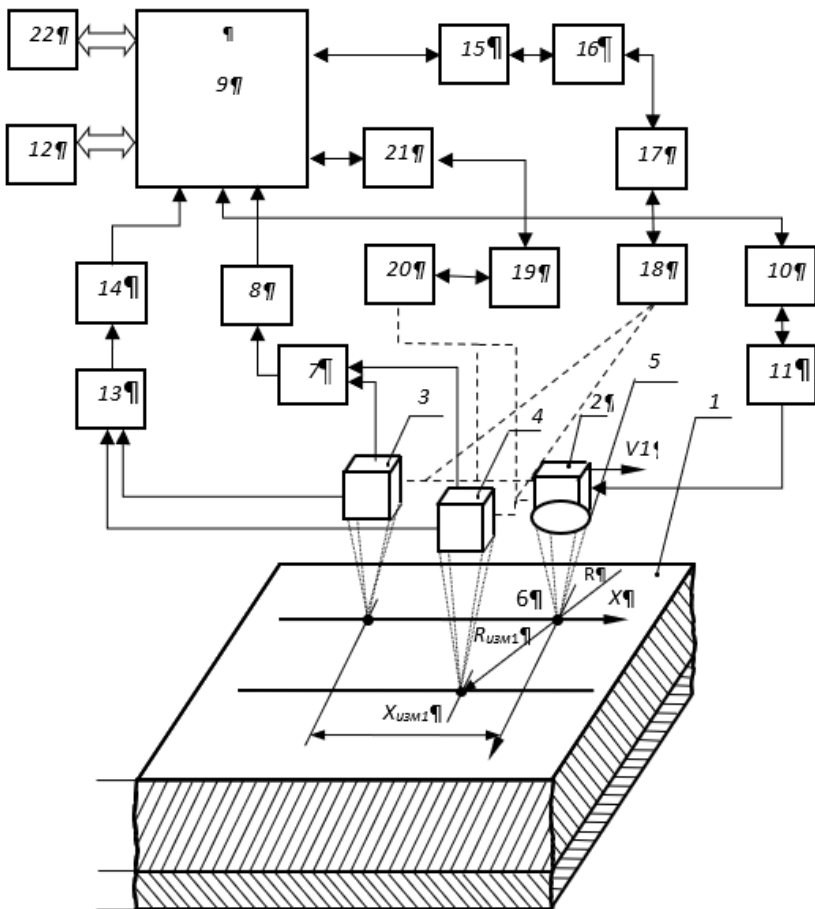


Рис. 1. Блок-схема ИИС, реализующая предложенный метод

Управление работой двигателя 19 осуществляется компьютером 9 через блок питания двигателя постоянного тока 21. Компьютер 9 вычисляет равные интегральные значения температур в точках контроля температуры согласно заложенному в него алгоритму в соответствии с формулами дает команду на механизмы движения 18 и 20 прекратить движение термоприемников. После внесения информации о $x_{изм1}$, $x_{изм2}$, $R_{изм1}$ в компьютер 9, по формуле вычисляют теплопроводность исследуемого материала. Для определения теплопроводности исследуемого объекта измерительный процесс повторяется при движении зонда

скоростью V_2 . Компьютер 9 вычисляет равные интегральные значения температур в точках контроля температуры согласно заложенному в него алгоритму в соответствии с формулами и дает команду на механизмы движения 18 и 20 прекратить движение термоприемников. После внесения информации о $x_{изм3}$, $R_{изм2}$ компьютер 9 вычисляет по формуле теплопроводность исследуемого материала. Экспериментальные данные об искомым ТФС выводятся на монитор 22.

Список литературы

1. Чернышов, В. Н. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова. – СПб. : Экспертные решения, 2016. – 384 с.

2. Чернышова, Т. И. Методы и системы неразрушающего контроля теплофизических характеристик и влажности объектов с использованием СВЧ-нагрева / Т. И. Чернышова, В. Н. Чернышов. – СПб. : Экспертные решения, 2021. – 192 с.

3. Микроволновые методы и системы контроля теплофизических характеристик материалов и изделий : монография / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 124 с.

4. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 599 с.

*Кафедра «Уголовное право и прикладная информатика
в юриспруденции» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*