

Спектральный диапазон теплового излучения от 0,3 до 24 мкм. Геометрия полости и диафрагмы позволила получить интегральную поглотительную способность порядка $0,99 \pm 0,005$ [6, 7].

Время достижения установившегося теплового состояния приемника теплового излучения прибора на уровне 63%, при измерении стационарного теплового излучения не более 40 с.

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения в поддиапазоне от 1-20 кВт/м² ± 6 %, а в поддиапазоне от 20-75 кВт/м² ± 3 %.

Приемники прошли государственную метрологическую аттестацию в Укрметтестстандарте.

Основные технические характеристики приемников указаны в таблице.

Выводы

Разработанные приемники теплового излучения имеют ряд достоинств по сравнению с существующими аналогами – широкий диапазон измерения, наличие специального нагревательного элемента, обеспечивающего проведение периодических поверок прибора. Могут применяться как в комплекте со стандартным измерителем на-

пряжения постоянного тока, так и в комплекте с цифровым показывающим устройством. Созданные приборы предназначены для использования в специализированных стендах [1, 2] и позволяют отказаться от импорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ БВ.2.7-70-98 (ГОСТ 30444-97). Будівельні матеріали. Метод випробування на розповсюдження полум'я.
2. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
3. Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Воробьев Л.И. Полостной приемник теплового излучения// Пром. Теплотехника.– 2002.– Т. 24.– № 4.– С. 89-92.
4. Геращенко О.А. Основы теплотеметрии.– Киев: Наукова думка., 1971.– 192 с.
5. ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98). Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови.
6. Русин С.П., Пелецкий В.Э. Тепловое излучение полостей.– М: Энергоатомиздат.– 1987.– 152 с.
7. Хадсон Р. Инфракрасные системы.– М: Мир, 1972.– 534 с.

Получено 19.10.2004 г.

УДК 536.2.022

ДЕКУША О.Л.

Ин-т технической теплофизики НАН Украины

ПРИБОР ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ИТ-8)

Описано прилад для вимірювання теплопровідності твердих матеріалів неруйнівним способом у виробничих умовах ИТ-8. Розглянуті переваги диферен-

Описан прибор для измерения теплопроводности твердых материалов неразрушающим способом в производственных условиях ИТ-8. Рассмотрены преимущества

The device for measurement of thermal conductivity of firm materials by nondestructive method under industrial conditions ИТ-8 is described. Ad-

ційного методу локального теплового впливу, що реалізований в даному приладі.

дифференциального метода локального теплового воздействия, реализованного в данном приборе.

vantages of differential method of the local thermal influence in the device are considered.

Bi – число Био;

J_0, J_1 – функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка;

l – расстояние, м;

q – плотность теплового потока, Вт/м²;

R – сопротивление термическое, (м²·К)/Вт;

r – радиус пятна воздействия, м;

T – температура, К;

x, y, z – координаты декартовые;

α – эффективный коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К);

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

ρ, ζ – безразмерные радиальная и продольная цилиндрические координаты;

ϑ, θ – температура, К;

Индексы:

лок – локальный;

ос – окружающая среда;

п – пятно;

∞ – невозмущенное поле.

Введение

Наряду с тепловыми испытаниями образцов строительных материалов в стационарных лабораторных условиях, часто возникает необходимость в проведении экспрессных измерений коэффициента теплопроводности строительных материалов и изделий в производственных условиях: либо в цеху предприятия-изготовителя, либо на стройплощадке. Проведение таких экспресс-измерений способствует как повышению качества производимой продукции (строительных материалов и изделий), так и повышению качества выполнения строительных работ. В первом случае открывается возможность контроля кондиционности выпускаемых материалов и изделий перед отправкой на строительный объект. Во втором случае – возможность предварительного экспресс-измерения поступивших строительных изделий, теплоизоляционных блоков и материалов с целью выбраковки некондиционных элементов, не удовлетворяющих установленным нормативным требованиям к их теплоизоляционным характеристикам.

Метод исследования

В приборе реализован метод локального теплового воздействия на ограниченную зону плоской поверхности контролируемого материала при дифференциальном способе измерения разности

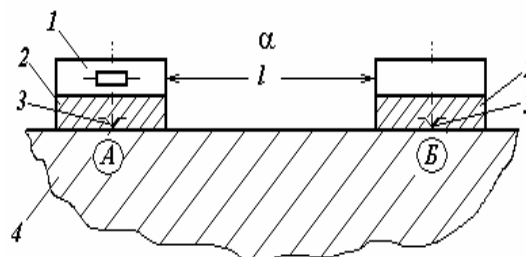


Рис. 1. Схема дифференциального метода локального теплового воздействия. А – зона локального теплового воздействия; Б – невозмущенная область. 1 – источник теплового воздействия; 2 – преобразователь теплового потока; 3 – преобразователь температуры (термопара); 4 – контролируемый образец.

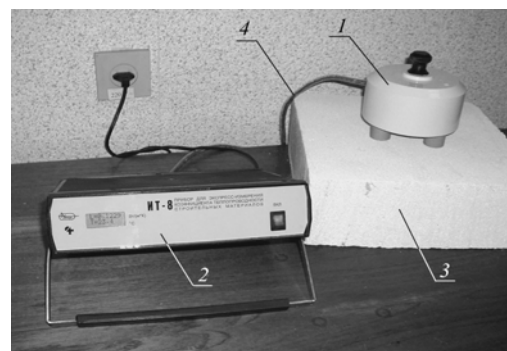


Рис. 2. Внешний вид прибора ИТ-8. 1 – тепловой блок; 2 – электронный блок; 3 – образец исследуемого материала; 4 – кабель связи.

плотностей теплового потока и температур в зоне нагрева и невозмущенной области и вычислении коэффициента теплопроводности. Принципиальная схема метода приведена на рис. 1. Внешний вид прибора приведен на рис. 2.

Преимущество этого метода заключается в возможности определения коэффициентов теплопроводности на образцах неправильной формы, в том числе и на готовых изделиях без подготовки специального образца конкретной формы. Необходимо иметь одну плоскую поверхность, на которую устанавливается тепловой блок прибора, с помощью которого производится тепловое воздействие от электрического нагревателя. Основная расчетная формула дифференциального метода имеет вид

$$\lambda = \frac{q_1 - q_2}{T_1 - T_2} \cdot r_{\text{ПТП}} \cdot I(\rho, \zeta), \quad (1)$$

где q_1 и T_1 – плотность теплового потока и температура в пятне воздействия, а q_2 и T_2 – то же в точке, отстоящей от пятна воздействия на некотором расстоянии l ,

$$I(\rho, \zeta) = \int_0^{\infty} \frac{\exp(-\zeta \cdot x) J_1(x) \cdot J_0(\rho \cdot x)}{x + \text{Bi}} dx,$$

$$\text{Bi} = \alpha \cdot r_{\text{ПТП}} / \lambda. \quad (2)$$

Для определения расстояния l , при котором зона расположения ПТП-референта не подвержена искажениям из-за локального теплового воздей-

ствия, выполнен анализ характера распространения приведенной плотности локального теплового потока в радиальном направлении по поверхности полубесконечного массива. На рис.3 представлены результаты расчета при вариации чисел Био.

Для тех же чисел Био проведены расчеты по определению степени проникновения приведенной плотности локального теплового потока в глубину массива. Результаты представлены на рис. 4.

Анализ результатов показывает, что ПТП-референт должен находиться от основного пятна теплового воздействия на расстоянии не менее 5 радиусов пятна $l \geq 5r_{\text{ПТП}}$, а образцы материалов с известной теплопроводностью, которые используются при градуировке и аттестации средства измерения, должны иметь толщину не менее 10 радиусов пятна.

На практике такие измерения проводятся при наличии теплообмена поверхности образца с окружающей средой. Для определения области применения этого метода и выработки рекомендаций по проектированию реализующих его приборов необходимо определить влияние на измерения таких факторов, как размер пятна воздействия $r_{\text{П}}$, наличие теплообмена поверхности с окружающей средой α и величина контактного термического сопротивления R_K .

Для определения влияния первого и второго факторов решена следующая аналитическая задача. На поверхности тела, температура которого принята равной температуре окружающей среды T_{OC} , помещен малогабаритный источник теплоты. Размеры тела значительно больше площади пятна контакта радиусом $r_{П}$, что позволяет считать его полубесконечным массивом. С помощью источника теплоты через пятно контакта с поверхностью тела осуществляется воздействие тепловым потоком постоянной плотности q , из-за которого первоначальное температурное поле массива претерпевает локальное искажение и перестает быть одномерным, а на поверхности за пределами пятна воздействия происходит конвективно-радиационный теплообмен с окружающей средой с эффективным коэффициентом теплообмена α .

Задача решена для способа измерения плотности потока теплового воздействия плоским преобразователем теплового потока (ПТП), помещаемым на поверхности тела так, что весь тепловой поток от источника теплоты проходит через него, то есть $r_{П} = r_{ПТП}$.

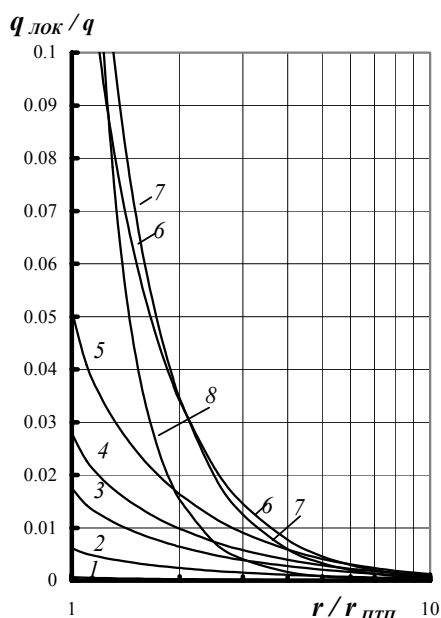


Рис. 3. Характер распространения приведенной плотности локального теплового потока на поверхности полубесконечного массива за пределы пятна в радиальном направлении при вариации чисел Био.

1 - $Bi = 0,001$; 2 - $0,01$; 3 - $0,03$; 4 - $0,05$; 5 - $0,1$; 6 - $0,5$; 7 - $1,0$; 8 - $5,0$

В качестве переменной температуры целесообразно использовать избыточную температуру $\vartheta(r, z) = T(r, z) - T_{\infty}$, при этом принято, что $T_{\infty} = T_{OC}$.

Решение для функции избыточной температуры в безразмерных цилиндрических координатах r и z для данного случая имеет вид

$$\vartheta(r, z) = \frac{q \cdot r_{ПТП}}{\lambda} \cdot I(\rho, \zeta). \quad (3)$$

Это решение позволяет исследовать зависимость отношения $q_{изм} / \vartheta(r, z)$ измеряемых плотности теплового потока и избыточной температуры от коэффициента теплопроводности массива и радиуса ПТП, при изменении условий теплообмена на свободной поверхности массива. С этой целью выполнены расчеты по формуле

$$q_{изм} / \vartheta(r, z) = \frac{\lambda}{r_{ПТП}} \cdot \frac{1}{I(\rho, \zeta)} \quad (4)$$

при вариации значений коэффициента α в диапазоне от 0 до $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ с шагом в $1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Результаты счета представлены на рис. 5.

Из анализа полученных графиков следует, что

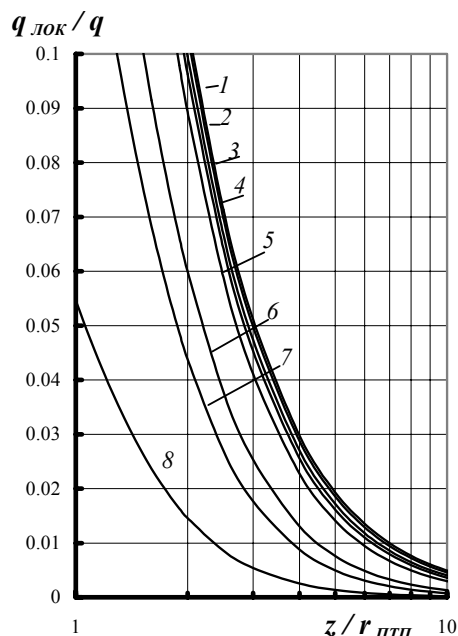


Рис. 4. Характер распространения приведенной плотности локального теплового потока с поверхности в глубину полубесконечного массива при вариации чисел Био.

влияние условий теплообмена поверхности массива с окружающей средой на отношение $q_{изм}/\vartheta$ существенно при значениях отношения $\lambda/r_{ПТП} < 100$. Отсюда следует, что надо стремиться к обеспечению максимально большого значения отношения $\lambda/r_{ПТП}$, что может быть достигнуто уменьшением пятна теплового воздействия. Однако существенное уменьшение радиуса пятна приводит к ограничению области применения метода локального теплового воздействия лишь гомогенными материалами.

Распределение среднеинтегральной избыточной температуры в полубесконечном массиве с учетом искажения, вносимого ПТП, определяется формулой:

$$\vartheta(\zeta) = \frac{q \cdot r_{ПТП}}{\lambda} \cdot I_{SR}(\zeta) \quad (5)$$

$$\text{где } I_{SR}(\zeta) = \int_0^{\infty} \frac{\exp(-\zeta \cdot x)}{x + \text{Bi}} \cdot J_1(x) \cdot \frac{2J_1(x)}{x} dx \quad (6).$$

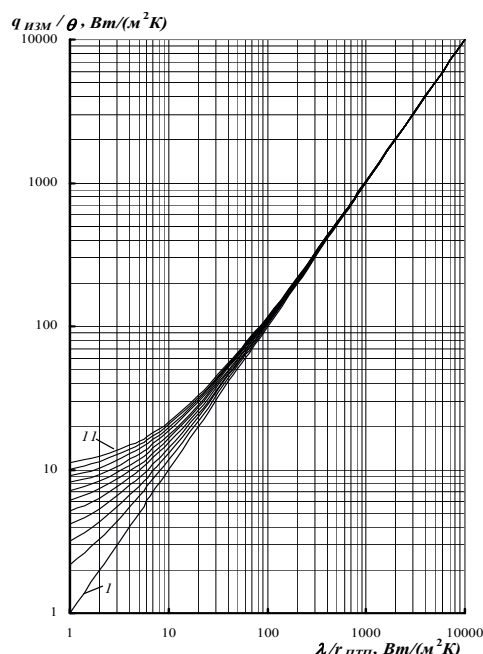
Отсюда с учетом того, что измерение проводится на поверхности образца, следует выражение для отношения измеренной плотности теплового потока к разности избыточных температур при наличии контактного сопротивления:

$$q_{изм}/\Delta\vartheta(0) = \frac{1}{(r_{ПТП}/\lambda + R_K) \cdot I_{SR}(0)} \quad (7)$$

Из анализа (7) следует, что при радиусе пятна 0,01 м для материалов теплопроводностью менее примерно 0,2 Вт/м·К влияние оказывает только величина коэффициента конвективного теплообмена, а вариация контактного термического сопротивления не приводит к изменению измеряемых величин. Для диапазона материалов теплопроводностью выше 0,2 Вт/м·К, наоборот, определяющее значение при измерении имеет величина контактного термического сопротивления при практическом отсутствии влияния коэффициента конвективного теплообмена.

Обсуждение результатов

На основании проведенного анализа влияния параметров конструкции прибора на его характеристики радиус пятна теплового воздействия для прибора ИТ-8 выбран равным 0,01 м, а конструкция теплового блока обеспечивает нормированное усилие прижима зондов к исследуемому образцу и



1 – $\alpha = 0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 3; ...; 11 – 10.

Рис. 5. Зависимость комплекса $q_{изм} / \vartheta$ от отношения $\lambda / r_{ПТП}$ при вариации коэффициента теплообмена α .

стабилизацию конвективного теплообмена на поверхности.

Экспериментальный образец прибора ИТ-8 прошел в 2004 г. государственную метрологическую аттестацию и допущен к эксплуатации в качестве нестандартизованного рабочего средства измерения коэффициентов теплопроводности твердых строительных материалов в производственных условиях на объектах концерна «Познякижилстрой» со следующими техническими характеристиками: диапазон измеряемых значений коэффициентов эффективной теплопроводности от 0,03 до 3,0 Вт/(м·К); пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения коэффициентов теплопроводности $\pm 7,4 \%$; диапазон рабочих температур от 10 до 40 °С; время одного измерения не более 30 мин.

Выводы

1. Создан прибор ИТ-8 для измерения теплопроводности твердых материалов, пригодный для эксплуатации как в лабораторных так и в производственных условиях.

2. Разработаны рекомендации по конструированию приборов, реализующих дифференциальный метод локального теплового воздействия.

3. Рассмотрено влияние различных факторов на получаемый результат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков М.В., Макаров Б.И. Измерение температуры поверхности твердых тел / Библиотека по автоматике, вып.598.– М.: Энергия, 1979.– 96 с.

Получено 19.10.2004 г.

УДК 536.2.022

МУРОВАННАЯ Л.С.

Ин-т технической теплофизики НАН Украины

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТЕПЛОПРОВОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Описано установку, що реалізує абсолютний метод вимірювання теплопровідності в стаціонарному режимі. Наведені результати експериментальних досліджень теплопровідності піролітичних графітових матеріалів різного походження.

Описана установка, реализующая абсолютный метод измерения теплопроводности в стационарном режиме. Приведены результаты экспериментальных исследований теплопроводности пиролитических графитовых материалов различного происхождения.

The plant realizing an absolute method of thermal conductivity measurement in a steady-state conditions is described. Results of experimental researches of thermal conductivity of pyrolytic graphite materials of a various origin are described.

F – расчетная площадь поверхности, нормальной направлению теплового потока, м²;

L – длина прядей (или образца из пирографитовой ткани), м;

N – количество прядей в пучке, шт.;

Q – тепловой поток, Вт;

R_T – термическое сопротивление, м²·К/Вт;

r_T – удельное термическое сопротивление, (м·К)/Вт;

S – ширина образца, м;