

УДК 536.2:536.3:536.6:629.7:697.34

Бурова З.А., Гайдучек А.В., Ковтун С.И.

Ин-т технической теплофизики НАН Украины

ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Розглянуто основні проблеми, що виникають при вимірюванні теплопровідності будівельних та ізоляційних матеріалів. Описано установку для вимірювання коефіцієнтів теплопровідності теплоізоляційних та будівельних матеріалів ИТ-7С, яка розроблена в ІТТФ НАН України.

Рассмотрены основные проблемы, возникающие при измерении теплопроводности строительных и изоляционных материалов. Представлена установка для измерения коэффициентов теплопроводности теплоизоляционных и строительных материалов ИТ-7С, разработанная в ИТТФ НАН Украины.

The basic problems arising at measurement of heat conductivity of building and insulating materials are considered. Installation for measurement of thermal conductivity factors of heat insulating and building materials ИТ-7С developed in IETF NAS of Ukraine is submitted as the technical decision of these problems.

$D_{\text{ОБР}}$ – поперечный размер образца, мм;

$h_{\text{ОБР}}$ – толщина образца, мм;

q – тепловой поток, Вт;

R_K – термическое сопротивление;

t – измеренная температура, °С;

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

Индексы:

В – верхний теплотеметрический блок;

Н – нижний теплотеметрический блок.

Введение

В настоящее время измерение коэффициентов теплопроводности твердых и сыпучих строительных материалов и материалов, предназначенных для тепловой изоляции промышленного оборудования и ограждающих конструкций, регламентировано Межгосударственным стандартом ГОСТ 7076-99 [1], гармонизированным с Международным стандартом ИСО 8301:1991 [2].

Согласно этим требованиям исследуемый образец выполняется в виде пластины, тепловые потоки измеряются преобразователями тепловых потоков (ПТП), а перепад температур и температуры отнесения определяют с помощью преобразователей температуры (например, термопар), расположенных на торцевых поверхностях образца.

Проблемы измерения теплопроводности

В рекомендациях стандарта [1] относительно устройства прибора, реализующего регламенти-

рованный в нем метод определения теплопроводности, предложены три схемы, две из которых основаны на применении ПТП:

- симметричная схема, по которой прибор оснащен двумя ПТП, расположенными на теплоотдающей поверхности нагревателя и тепловос-

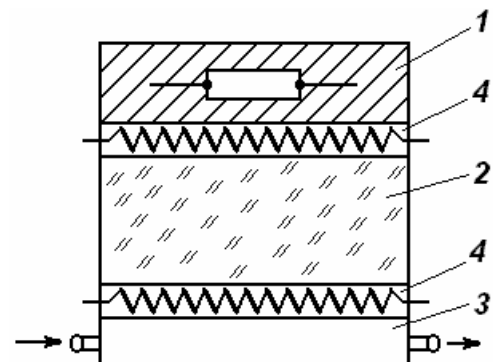


Рис. 1. Схема прибора с двумя ПТП (симметричная): 1 – нагреватель, 2 – образец, 3 – холодильник, 4 – ПТП.

принимающей поверхности холодильника, между которыми помещают исследуемый образец (рис. 1);

- асимметричная схема, по которой прибор оснащен одним ПТП, расположенным между исследуемым образцом и нагревателем (рис. 2а) или между образцом и холодильником (рис. 2б).

При проектировании этих приборов с требуемой точностью основными проблемами являются следующие: выбор в зависимости от особенностей исследуемого материала геометрических размеров рабочего участка прибора, соответствующих размерам исследуемого образца; обеспечение изотермичности теплоотдающей поверхности нагревателя и тепловоспринимающей поверхности холодильника; выбор размеров теплочувствительного элемента ПТП и охранной зоны, а также его теплофизических свойств; правильная организация защиты боковой поверхности образца.

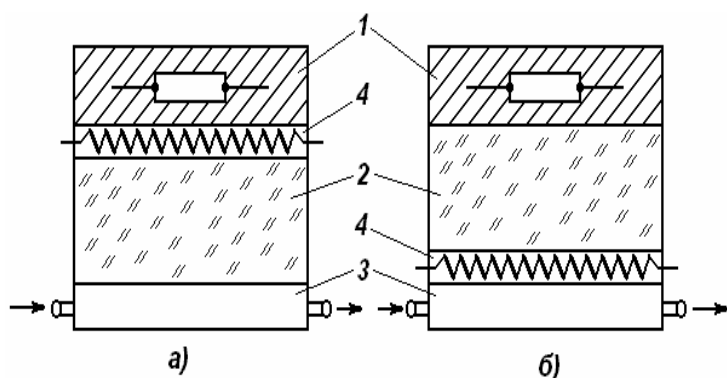


Рис. 2. Схема с одним ПТП (асимметричная):

- 1 – нагреватель, 2 – образец,
3 – холодильник, 4 – ПТП.

Размеры образца должны удовлетворять установленным в [1] нормам, которые существенно зависят от степени однородности исследуемого материала. В связи с этим образец строительного материала допускается изготавливать в виде квадратной пластины (или круга), если рабочие поверхности нагревателя и холодильника выполнены таковыми, а толщина образца должна быть выдержана не менее чем в пять раз меньше ребра (или диаметра) контактирующих (рабочих) по-

верхностей нагревателя и холодильника. При этом средний размер включений (гранулы заполнителя, крупные поры и т.п.), отличных по теплофизическим свойствам от основного материала образца, должен составлять не более 0,1 толщины образца. Таким образом, в силу того, что эффективный поперечный размер образца строительного материала должен быть не менее 250 мм и толщиной, удовлетворяющей условию $D_{\text{ОБР}} / h_{\text{ОБР}} \geq 5$, габариты посадочного места в приборе также должны удовлетворять следующему условию: поперечный размер не менее 250 мм, при этом высота должна позволять размещать образец толщиной до 50 мм.

Изотермичность теплоотдающей поверхности нагревателя и тепловоспринимающей поверхности холодильника может быть обеспечена изготовлением этих рабочих поверхностей нагревателя и холодильника из высокотеплопроводного материала.

Одним из вариантов боковой защиты является кольцевая газовая прослойка в зазоре между боковой поверхностью образца и кожухом или защитным термостатированным экраном. При этом температура термостатирования экрана может быть установлена равной температуре нагревателя либо холодильника, либо среднему арифметическому их значений. Кроме того, увеличить термическое сопротивление теплообмену по боковой поверхности образца можно введением слоя теплоизоляционного материала в зазор между образцом и экраном, как это и рекомендовано [1].

Техническое решение

Полученные в отделе теплотрии ИТТФ НАН Украины объективные решения по целому ряду вопросов (установление области применения асимметричной и симметричной схем исполнения приборов, выбор режима термостатирования защитного экрана) и выработанные рекомендации [3] были применены при проектировании теплового блока установки ИТ-7С, в которой реализована симметричная схема [1, 2].

Установка ИТ-7С является материальной базой для внедрения межгосударственного стандарта ГОСТ 7076-99 [1] в практику теплофизических измерений в Украине.

В установке ИТ-7С реализован метод, сущность которого состоит в создании постоянного теплового потока через плоский образец определенной толщины, направленного перпендикулярно торцевым рабочим поверхностям образца, в измерении поверхностной плотности теплового потока, разности температур рабочих поверхностей образца и его толщины и в вычислении коэффициента теплопроводности по результатам измерения.

Установка представляет собой совокупность функционально объединенных теплового блока, в котором размещают образец исследуемого материала и обеспечивают требуемые температурный и тепловой режимы, и электронного блока, содержащего средства регулирования тепловых ре-

жимов, приема и обработки первичной измерительной информации и передачи ее в персональный компьютер для дальнейшей обработки по соответствующей программе. Функциональная схема установки ИТ-7С приведена на рис. 3.

Основными элементами теплового блока, конструктивная схема которого приведена на рис. 4, являются:

- измерительная ячейка 1;
- блок боковой активной термоизоляции 2;
- блок охлаждения 3;
- прижимное устройство 4.

Измерительная ячейка предназначена для размещения в ней образца исследуемого материала и обеспечения требуемых тепловых и температурных режимов.

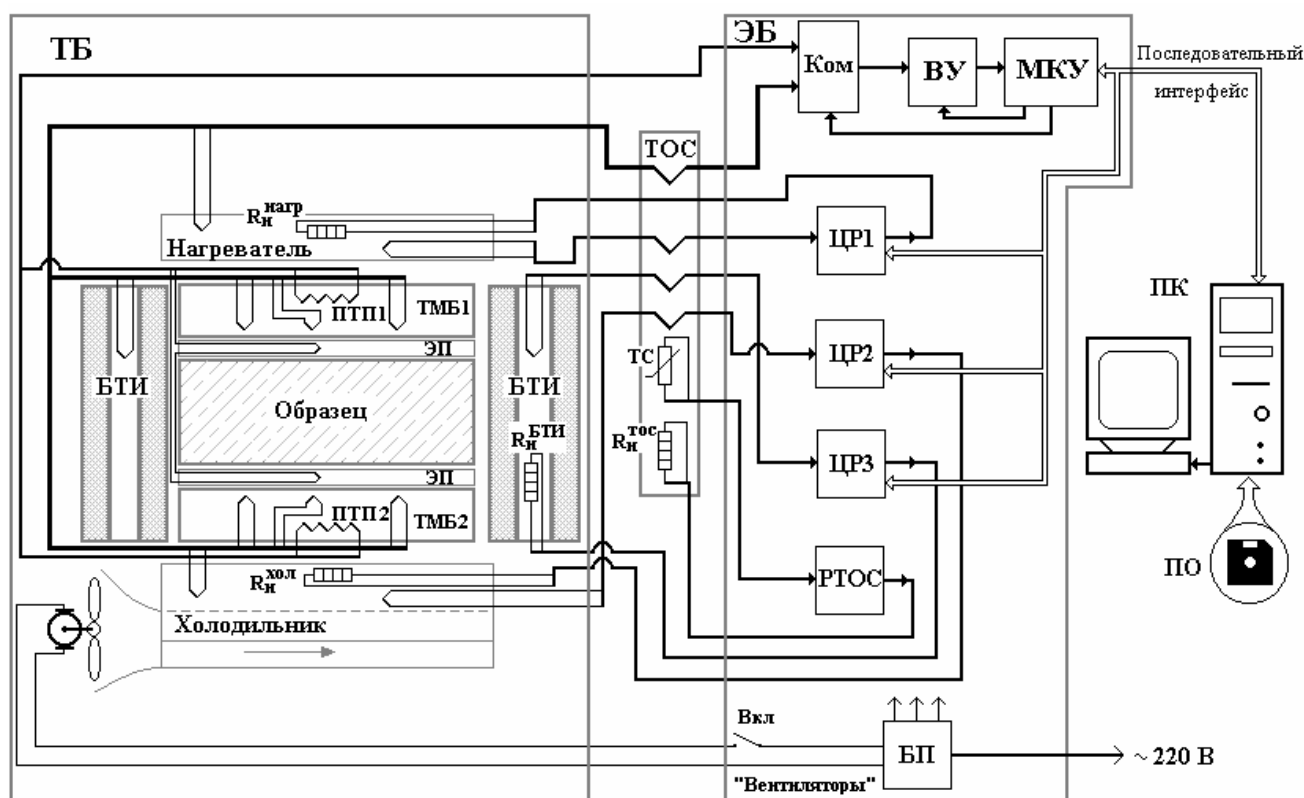


Рис. 3. Функциональная схема установки для измерения теплопроводности строительных материалов ИТ-7С: ТБ – тепловой блок: ТМБ1, ТМБ2 – теплотермические блоки; ПТП1, ПТП2 – преобразователи теплового потока; БТИ – боковая термоизоляция; ЭП – эластичная прокладка; ТОС – термостат опорных спаев; ТС – термометр сопротивления; $R_n^{нагр}$, $R_n^{хол}$, $R_n^{БТИ}$, $R_n^{ТОС}$ – нагревательные элементы; ЭБ – электронный блок: Ком – коммутатор сигналов первичных преобразователей; ЦР1, ЦР2, ЦР3 – цифровые регуляторы температуры; РТОС – регулятор термостата опорных спаев; БП – блок питания; ВУ – входное устройство; МКУ – микроконтроллерное устройство; ПК – персональный компьютер; ПО – программное обеспечение.

Образец 5 устанавливают в измерительной ячейке между тепломерами 6, в качестве которых использованы ПТП по ГОСТ [4], также являющиеся разработкой ИТТФ НАНУ. Информативным параметром выходного сигнала ПТП является термоэлектродвижущая сила.

Тепловой поток через образец задается верхним электрическим нагревателем. Теплоотвод от теплоотдающей поверхности исследуемого образца осуществлен кондуктивно-конвективным способом посредством теплоприемника, который выполнен из электрического нагревателя (нижнего)

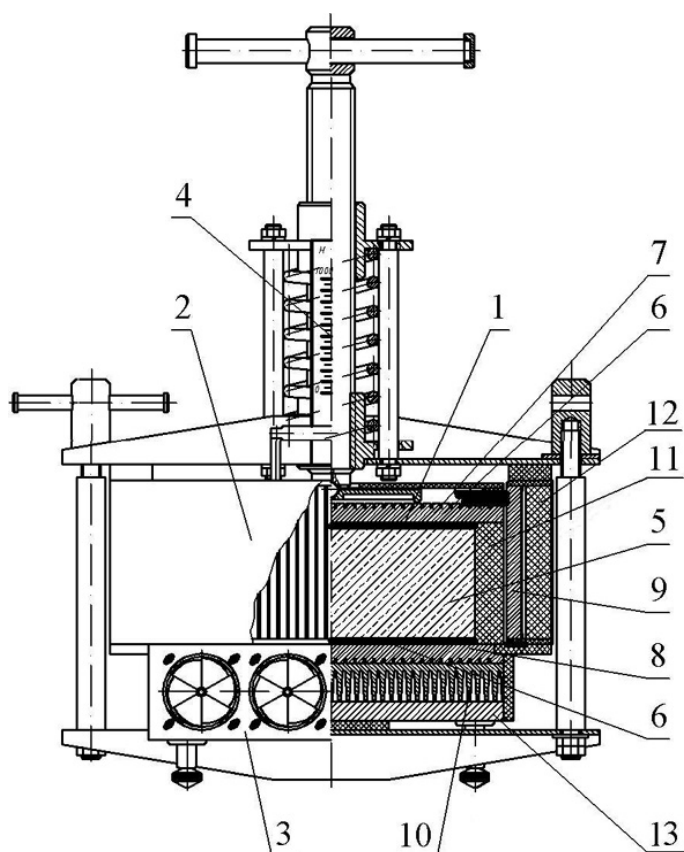


Рис. 4. Конструктивная схема теплового блока установки ИТ-7С: 1 – измерительная ячейка; 2 – блок боковой активной теплоизоляции; 3 – блок охлаждения; 4 – прижимное устройство; 5 – исследуемый образец; 6 – тепломеры; 7, 8, 9 – электрические нагреватели; 10 – радиатор; 11, 12 – тепловая изоляция; 13 – станина.

и радиатора, а съем теплоты производится за счет обдува воздухом с помощью блока охлаждения.

Температуры поверхностей исследуемого образца, а также верхнего и нижнего нагревателей определяют по показаниям измерительных преобразователей температуры.

Для исключения влияния внешних факторов на тепловое поле образца по боковой поверхности измерительной ячейки смонтирована боковая активная теплоизоляция, которая состоит из четырех охранных электрических нагревателей, снабженных изоляцией и закрытых общим кожухом.

В приборе предусмотрена возможность непосредственного измерения толщины образца, находящегося в измерительной ячейке, с помощью штангенциркуля, который имеет измеритель глубины.

Для проведения эксперимента по исследованию при низких температурах тепловой блок помещают в климатическую камеру.

Задание условий эксперимента, регулирование и контроль температурных режимов, а также получение первичной измерительной информации обеспечено электронным блоком.

ПК под управлением программного обеспечения осуществляет прием измерительной информации от электронного блока; в режиме диалога запрашивает и получает от оператора необходимые данные о задаваемых температурных режимах, толщине исследуемого образца и другую информацию об образце; контролирует наступление стационарного теплового режима образца; осуществляет усреднение результатов измерений тепловых потоков и температур и расчет коэффициента теплопроводности исследуемого образца.

Расчет коэффициента теплопроводности образца выполняется по формуле

$$\lambda = \frac{h_{\text{ОБР}}}{\frac{2 \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}{(q_{\text{В}} + q_{\text{Н}})} - R_{\text{К}}}$$

где $R_{\text{К}}$ – дополнительное контактное термическое сопротивление, определяемое при калибровке установки.

Выводы

1. Создана установка для измерения теплопроводности теплоизоляционных и строительных

материалов в обеспечение межгосударственного стандарта ГОСТ 7076-99, гармонизированного с международным стандартом ISO 8301:1991.

2. Выработаны рекомендации по проектированию аналогичных приборов и установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Межгосударственный стандарт ГОСТ 7076-99. Материалы строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стандартном тепловом режиме.
2. Международный стандарт ИСО 8301:1991. Теплоизоляция. Определение термического со-

противления и связанных с ним теплофизических показателей при стационарном тепловом режиме. Прибор, оснащенный тепломером.

3. Теоретические основы расчета и проектирования установок для определения теплопроводности. Отчет по НИР.- 2003.- 176 с.
4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30619-98 (ДСТУ 3756-98) Энергосбережение. Преобразователи теплового потока термоэлектрические общего назначения. Общие технические условия.- Киев: Госстандарт Украины.- 2000.- 21 с.

Получено 12.10.2004 г.

УДК 621.314.7

БУТЕНКО А.И.

Ин-т технической теплофизики НАН Украины

ПРИЕМНИКИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОДЕЛЕЙ РАП-12М И РАП-12М.2

Описано конструкцію та принцип дії приймачів теплового випромінювання РАП-12М та РАП -12М.2. Наведено їх експлуатаційні та метрологічні характеристики.

Описаны устройство и принцип действия приемников теплового излучения РАП-12М и РАП-12М.2. Приведены их эксплуатационные и метрологические характеристики.

The construction and action principle of thermal radiation receivers РАП-12М and РАП-12М.2 are described. Their operational and metrological characteristics are given.

a – поглотательная способность;
 $e_{\text{ПТП}}$ – сигнал ПТП, мВ;
 K – константа прибора, кВт/(м²·мВ);
 q – плотность потока теплового излучения, Вт/м²;
 T – температура, К;
 ε – степень черноты;
 σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴);
 ПТП – преобразователь теплового потока;

ПТ – преобразователь температуры;
 ЦПУ – цифровое показывающее устройство;

Индексы:

изм – измеренный;
 пад – падающий;
 погл – поглощенный;
 рез – результирующий;
 соб – собственный.