

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ТВЕРДЫХ ТЕЛ
СТАЦИОНАРНЫМ МЕТОДОМ
ПЛОСКОГО СЛОЯ**



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Тамбовский государственный технический университет"

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
СТАЦИОНАРНЫМ МЕТОДОМ
ПЛОСКОГО СЛОЯ**

Лабораторная работа
для студентов третьего курса специальности 140106



Тамбов
Издательство ТГТУ
2005

УДК 536.2
ББК ←312.3я73-5
Л99

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Кандидат технических наук, доцент
А.М. Савельев

С о с т а в и т е л ь

Кандидат технических наук, профессор
В.И. Ляшков

Л99 Исследование теплопроводности твердых тел стационарным методом плоского слоя: Лаб. работа / Сост. В.И. Ляшков. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 8 с.

Приводятся методические указания и порядок выполнения лабораторной работы, включая подробное описание экспериментальной установки, методики проведения экспериментов и обработки опытных данных, список рекомендуемой литературы.

Предназначено для студентов 3-го курса специальности 140106.

УДК 536.2

ББК ←312.3я73-5

© Ляшков В.И., 2005
© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2005

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ТВЕРДЫХ ТЕЛ СТАЦИОНАРНЫМ МЕТОДОМ
ПЛОСКОГО СЛОЯ**

Лабораторная работа

Составитель Ляшкoв Василий Игнатьевич

Редактор З.Г. Чернова

Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Рыжкова

Подписано к печати 17.03.2005

Формат 60 × 84/16. Бумага газетная. Печать офсетная.

Гарнитура Times New Roman. Объем: 0,47 усл. печ. л.; 0,45 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 166

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

1 Цель работы

Стационарным методом плоского слоя экспериментально определить величину коэффициента теплопроводности λ , сравнить результаты измерений с данными из литературных источников.

2 ОСНОВЫ ТЕОРИИ

Коэффициент теплопроводности λ представляет собой количество теплоты, передаваемой через единицу изотермической поверхности внутри твердого тела за единицу времени при температурном напоре в один градус на расстоянии в один метр. Это одна из важнейших теплофизических характеристик материала, определяющая способность тел проводить тепло. Знание величины λ совершенно необходимо при инженерных расчетах процессов теплообмена.

Теоретической основой названного метода является формула для плотности теплового потока, передаваемого при стационарной теплопроводности плоской стенки с граничными условиями 1-го рода [1 – 3]:

$$q = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\delta/\lambda},$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²; t_{c1} и t_{c2} – постоянные температуры на горячей и холодной сторонах стенки, К; δ – толщина стенки, м; λ – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·К).

Выразим из приведенной формулы коэффициент теплопроводности

$$\lambda = \frac{q \delta}{t_{c1} - t_{c2}}. \quad (1)$$

Теперь видно, что значение λ легко можно получить как результат косвенных измерений, если опытным путем определить значения всех параметров, входящих в правую часть формулы (1).

Практическая реализация метода может быть весьма разнообразной. В частности, институтом технической теплофизики академии наук Украины еще в конце 70-х годов XX века был разработан и до настоящего времени серийно выпускается измеритель теплопроводности ИТ-3. Для измерений на нем из исследуемого материала изготавливают специальный плоский образец в форме диска. Толщину образца δ измеряют с помощью штангенциркуля или микрометра с наибольшей возможной точностью до начала исследования. Температуры на поверхностях образца измеряются с помощью хромель-алюмелевых термопар, прижимаемых к поверхностям образца, а передаваемый от плоского электронагревателя удельный тепловой поток q измеряется с помощью специального датчика теплового потока. Этот датчик вырабатывает ЭДС, величина которой пропорциональна величине q . Специальной калибровкой датчика для каждого прибора определяется и фиксируется в его паспорте величина коэффициента преобразования K_d , так что

$$q = K_d E_d,$$

где E_d – ЭДС, развиваемая датчиком теплового потока, мВ.

Измерив термо-ЭДС E_1 и E_2 (в мВ) соответствующих термопар, легко определить температуры

$$t_{c1} = K_T E_1 \quad \text{и} \quad t_{c2} = K_T E_2,$$

где K_T – коэффициент преобразования термопары, К/мВ.

Таким образом формулу (1) можно представить в виде

$$\lambda = \delta \frac{K_d}{K_T} \frac{E_d}{(E_1 - E_2)}. \quad (2)$$

Средняя температура образца (температура отнесения) вычисляется по формуле

$$t_{\text{отн}} = 0,5K_T(E_1 + E_2). \quad (3)$$

Если же холодные спаи термопар находились не в сосуде с тающим льдом, а при температуре окружающей среды $t_{\text{окр}}$, то к величине $t_{\text{отн}}$ следует добавить еще и эту температуру.

Определенные калибровкой коэффициенты преобразования K_d и K_T имеют следующие значения:

$$K_d = 40,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{мВ}); \quad K_T = 24,4 \text{ К}/\text{мВ}.$$

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментальная установка включает основное лабораторное оборудование (см. рис. 1):

- измеритель теплопроводности ИТ-3 III;
- два термостата I и II, предназначенные для отвода тепла и поддержания постоянной температуры в системе термостатирования ИТ-3;
- регулируемый источник переменного тока V (ЛАТР), служащий для питания электронагревателя и задания уровня теплового потока через исследуемый образец;

- сосуд Дьюара VI, служащий для поддержания температуры свободных спаев термопар при температуре 0 °С;
- многопозиционный переключатель VII, служащий для переключения выходов от термопар и датчика теплового потока ко входу измерительного прибора;
- цифровой милливольтметр VIII, служащий для измерения сигнала от термопар и датчика теплового потока.

Основным прибором экспериментальной установки является измеритель ИТ-3. Он включает в себя следующие элементы: плоский электрический нагреватель 3, предназначенный для нагрева верхней поверхности испытуемого образца IV; нагреватель обеспечивает получение достаточно больших тепловых потоков через образец (до 10^4 Вт/м²); ленточные термопары 4 и 5 помещены в эластичные резиновые прокладки, чтобы исключить появление контактных термических сопротивлений. Прокладки накладываются на образец той поверхностью, на которую выведены раскатанные спаи термопар. Датчик теплового потока 7 установлен в верхней части холодильника 6. Механизм перемещения 1 позволяет вращением верхнего фланца поднимать или опускать подвижную внутреннюю вставку с нагревателем, обеспечивая возможность сначала вставить образец с прокладками, а потом плотно прижать весь пакет к охладителю. Для увеличения прижатия на диск 1 накладывают дополнительный груз. Индикатор часового типа 2 позволяет определять возможное изменение толщины образца в результате его сжатия или теплового расширения.

Эксперимент проводится в следующей последовательности.

- 1 Измеряют и записывают в протоколе измерений толщину образца δ .
- 2 Образец закладывают между резиновыми прокладками и вставляют в измеритель ИТ-3 между нагревателем и холодильником.
- 3 С помощью механизма перемещения 1 нагреватель опускается до упора и устанавливается прижимающий груз.
- 4 Включается система охлаждения прибора (термостаты I и II).
- 5 Включают ЛАТР и подают на нагреватель напряжение 60...90 В.
- 6 Включают цифровой милливольтметр, переключателем термопар подключают его к термопаре, расположенной со стороны холодильника, измеряя E_2 (при этом переключатель VII ставится в положение «3»).
- 7 В течение 30...45 мин установка выходит на установившийся режим, при котором перестают меняться значения термо-ЭДС термопар и ЭДС датчика теплового потока.
- 8 Далее через каждые 10 мин проводят измерения значений E_d , E_1 и E_2 , записывая их в таблицу исходных опытных данных.
- 9 По формулам (2) и (3) рассчитывают значения λ и $t_{\text{опр}}$ для данного измерения.
- 10 Опыт можно считать законченным, когда расчетные значения λ и $t_{\text{опр}}$ станут повторяться с разбросом не более чем ± 5 %. Чтобы убедиться в этом, следует для каждого последующего опыта рассчитывать величину процентного отклонения его результатов от результатов предыдущего опыта

$$\Delta\lambda_i = \frac{\lambda_i - \lambda_{i-1}}{(\lambda_i + \lambda_{i-1}) / 2} \cdot 100 \%$$

- 11 Последовательно выключают питание нагревателя и систему охлаждения или, несколько увеличивая напряжение питания нагревателя, начинают эксперимент с более высокой средней температурой образца. Такого же эффекта можно добиться, увеличив температуру термостатирования в термостате I, или же сделав оба эти изменения.

Таблица исходных опытных данных и результатов расчета

№ опы- та	Исходные данные				Результаты расче- та		
	$\delta = \underline{\hspace{2cm}}$ мм		$t_{\text{окр}} = \underline{\hspace{2cm}}$ °С		λ , Вт/(м· К)	$\Delta\lambda_i$, %	$t_{\text{отн}}$, °С
	$E_{\text{д}}$, мВ (поз. 1)	ΔE , мВ (поз. 2)	E_1 , мВ (поз. 3)	E_2 , мВ (поз. 4)			
1							
2							
3							
.....							
8							

4 ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

По результатам расчетов, занесенным в таблицу, определяем среднее значение коэффициента теплопроводности при $t_{i \text{ отн}}$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \lambda_j,$$

где k – число параллельных опытов, у которых $\Delta\lambda_i$ не превышало 5 %.

Для оценки точности полученного результата рассчитаем и его среднеквадратическую погрешность

$$\Delta\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (\bar{\lambda} - \lambda_j)^2}, \text{ Вт/м·К,}$$

и относительную погрешность

$$\delta = \frac{\Delta\bar{\lambda}}{\bar{\lambda}} 100, \text{ \%}.$$

5 АНАЛИЗ И ВЫВОДЫ

Чтобы составить суждение о достоверности и точности результатов наших измерений, полезно, обратившись к справочным таблицам, например в [4], выписать значения λ для материалов примерно такого же класса. Примерное совпадение значений λ будет свидетельствовать о достоверности полученных в опыте результатов. В паспорте прибора [5] погрешность измерения по описанной методике оценивается величиной $\pm 6 \%$.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. М., 1981. 416 с.
- 2 Осипова В.А. Экспериментальные исследования процессов теплообмена / В.А. Осипова. М., 1979. 392 с.
- 3 Ляшков В.И. Теоретические основы теплотехники / В.И. Ляшков. М., 2002. 253 с.
- 4 Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче / Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. М., 1980. 228 с.

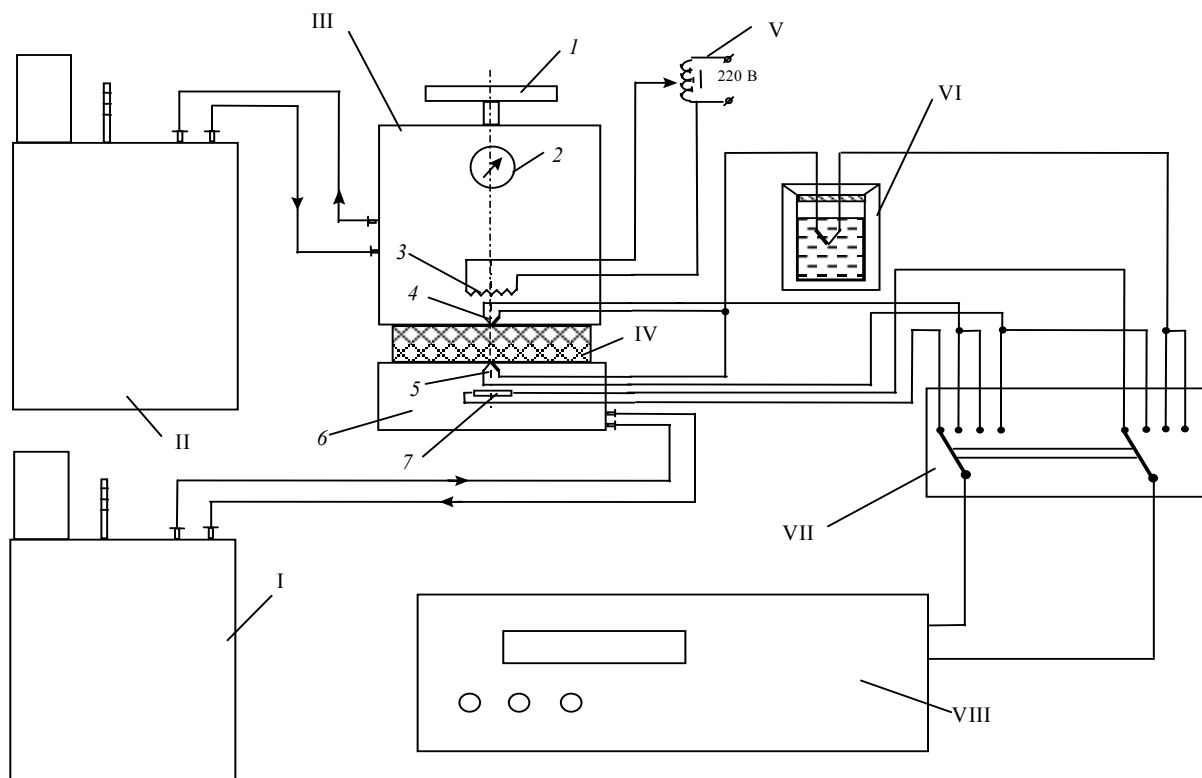


Рис. 1 Схема экспериментальной установки