

**Министерство образования Российской Федерации  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к лабораторной работе № 25  
по курсу общей физики**

**УФА 2003**

Министерство образования Российской Федерации  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра общей физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 25  
по курсу общей физики

Уфа 2003

Составитель: В.В. Столяров

УДК 536.23:531.1(07)

ББК 31.31(Я7)

Определение коэффициентов теплопроводности металлов: Методические указания к лабораторной работе № 25 По курсу общей физики /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: В. В. Столяров. - Уфа, 2003, 13 с.

В работе изучается явление теплопроводности кристаллических тел и определяются коэффициенты теплопроводности чистых металлов и сплавов. Изложена теория метода, дано описание установки и порядок выполнения работы.

Предназначены для студентов технических университетов, изучающих курс общей физики.

Ил.2 .Табл.1..Библиогр.: 3

Рецензенты: В.С. Осипов  
В.И. Сергеев

© Уфимский государственный авиационный  
технический университет, 2003.

Составитель Столяров Владимир Владимирович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 25  
по курсу общей физики

Редактор Соколова О.А.

Подписано в печать 10.03.2003 Формат 60\*80 1/16

Бумага оберточная. Печать плоская. Гарнитура Таймс. Усл. печт. л. 0,7.

Усл. кр.- отт. 0,7. Уч. –изд.л. 0,6.

Тираж 350 экз. заказ №

Уфимский государственный авиационный технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

45000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12

## Содержание

1. Цель работы .....	4
2. Теория метода.....	4
3. Описание установки.....	8
4. Требования к технике безопасности.....	10
5. Порядок выполнения работы .....	10
6. Требования к отчету.....	12
7. Контрольные вопросы.....	12
Список литературы.....	13

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 25

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ

### 1. Цель работы

Изучение явления теплопроводности и определение коэффициентов теплопроводности чистых металлов и сплавов.

### 2. Теоретическая часть

Теплопроводностью называется явление передачи тепла, не сопровождающееся переносом вещества и не связанное с излучением. Если в неравномерно нагретых жидкостях и газах тепловая энергия передается преимущественно за счет конвекции, при которой происходит перемещение вещества между областями с различной температурой, то в твердых телах тепло переносится только за счет теплопроводности. Распространение тепловой энергии путем теплопроводности обусловлено хаотическим тепловым движением частиц (электронов, ионов, атомов, молекул) в среде. Характер теплового движения частиц в веществе, а следовательно, и механизм теплопроводности зависит от его агрегатного состояния.

В газах теплопроводность осуществляется благодаря столкновениям между беспорядочно движущимися атомами или молекулами. В твердых телах механизм теплопроводности зависит также от того, является ли тело диэлектриком или проводником. В диэлектриках перенос тепловой энергии осуществляется за счет колебаний связанных атомов, образующих кристаллическую

решетку, происходит как бы раскачивание медленно колеблющихся атомов более быстро колеблющимися (решеточная теплопроводность). В металлических материалах (чистых металлах и сплавах), являющихся хорошими проводниками, передача тепла может происходить как за счет решеточной теплопроводности, так за счет электронной, обусловленной тепловым движением большого числа электронов проводимости. Теоретические оценки и экспериментальные данные свидетельствуют, что доля решеточной теплопроводности в чистых металлах составляет всего несколько процентов, то есть их теплопроводность в основном определяется теплопроводностью электронного газа.

Основным законом теплопроводности является закон Фурье, утверждающий, что в изотропной среде:

$$q = - \alpha \cdot \text{grad } T, \quad (2.1)$$

где  $q$  – вектор плотности теплового потока, модуль которого равен количеству теплоты, переносимой за единицу времени через площадку единичной площади;  $\text{grad } T$  – вектор градиента температуры, направленный в сторону ее наибольшего возрастания;  $\alpha$  – коэффициент теплопроводности, смысл которого заключается в том, что он численно равен количеству теплоты, переданному за единицу времени через единичную площадку в перпендикулярном ей направлении при единичном градиенте температуры. В основной системе единиц физических величин СИ  $\alpha$  измеряется в  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ .

Различие в механизмах теплопроводности в зависимости от природы среды и ее состояния приводит к различию коэффициентов

теплопроводности. Например, для металлических тел значение  $\kappa$  на несколько порядков превышает значения для жидкостей.

На теплопроводность разных металлических материалов влияет их химический состав, температура и ряд других факторов. Так, в металлических сплавах-растворах из-за преобладающего рассеяния электронов на искажениях кристаллической решетки, вызванных наличием чужеродных атомов, длина свободного пробега электронов будет уменьшаться пропорционально концентрации этих атомов. В результате доля теплопроводности электронного газа будет также уменьшаться, приближаясь по порядку величины к доле решеточной теплопроводности. Действительно, коэффициент теплопроводности сплава константан (60 % меди + 40 % никеля), в котором атомы никеля частично замещают атомы меди, значительно меньше, чем у чистых меди и никеля.

Температурное поведение теплопроводности металлических материалов коренным образом зависит от интервала температур и длины свободного пробега электронов. Вблизи абсолютного нуля  $\kappa \sim T$ ; в области низких температур (меньше так называемой температуры Дебая  $T_D$ )  $\kappa \sim T^{-2}$ ; а в области высоких температур (где  $T > T_D$ )  $\kappa \approx \text{const}$ .

В данной работе определяются и сравниваются коэффициенты теплопроводности четырех металлических материалов, один из которых является чистым металлом – алюминием, а три других – сплавами. Два из них (сталь и нержавеющая сталь) относятся к сплавам на основе железа, а третий (латунь) – на основе



меди (медь + 45 % цинка). Исследуемые вещества имеют форму пластин.

При изменении температуры только в одном направлении тепло будет переноситься только вдоль оси  $x$ , совпадающей с этим направлением. В этом одномерном случае вектор градиента температуры будет иметь только одну отличную от нуля проекцию – проекцию на ось  $x$ , равную  $\frac{dT}{dx}$ , и количество теплоты  $dQ$ , переносимое через площадку  $dS$ , перпендикулярную оси  $x$ , по закону Фурье будет равно:

$$dQ = - \alpha \frac{dT}{dx} dS dt. \quad (2.2)$$

Через сечение пластины площадью  $S$ , расположенного перпендикулярно оси  $x$ , за единицу времени будет проходить тепловой поток мощностью

$$W = \frac{dQ}{dt} = - \alpha \frac{dT}{dx} S \quad (2.3)$$

Из (2.3.) имеем:

$$W dx = - \alpha S dT \quad (2.4)$$

Интегрируя это уравнение по всей толщине пластины  $l$  при перепаде температуры вдоль нее от  $T_1$  до  $T_2$ .

$$\int_0^l W dl = - \int_{T_1}^{T_2} \alpha S dT, \quad (2.5)$$

получаем:

$$W l = \alpha S (T_1 - T_2) . \quad (2.6)$$

Откуда

$$\alpha = \frac{Wl}{S(T_1 - T_2)}. \quad (2.7)$$

Таким образом, если измерить подводимую к пластине мощность  $W$  в стационарном режиме (режим неизменного со временем распределения температуры вдоль пластины), то зная ее геометрические размеры и температуры  $T_1$  и  $T_2$  на концах, коэффициент теплопроводности материала пластины можно определить по формуле (2.7).

### 3. Описание установки

Общий вид установки и ее основные элементы показаны на рис.3.1 и 3.2. Установка содержит нагреватель 1 с тепловыделяющим элементом и радиатор 6 с вентилятором 7. Исследуемые образцы – металлические пластины 5 закрепляются на нагревателе и радиаторе с помощью винтов 3 и гаек 4.

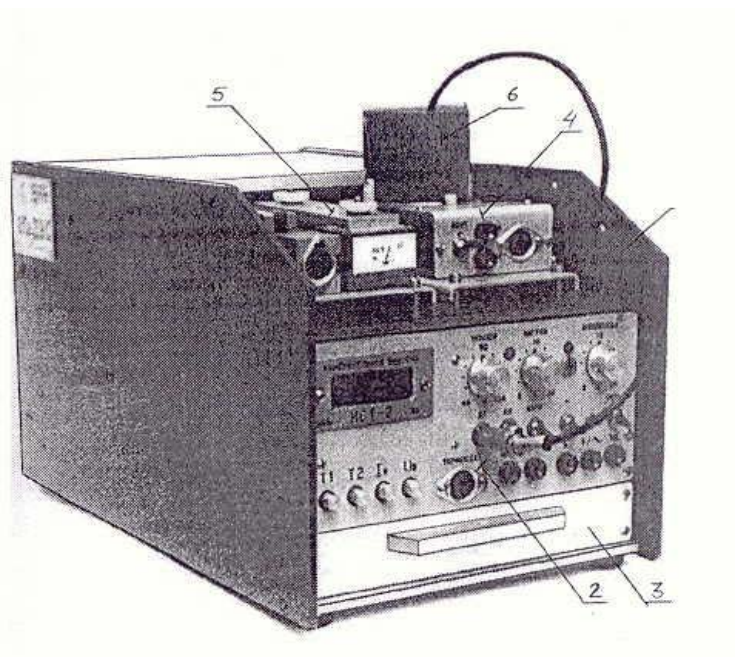


Рис.3.1

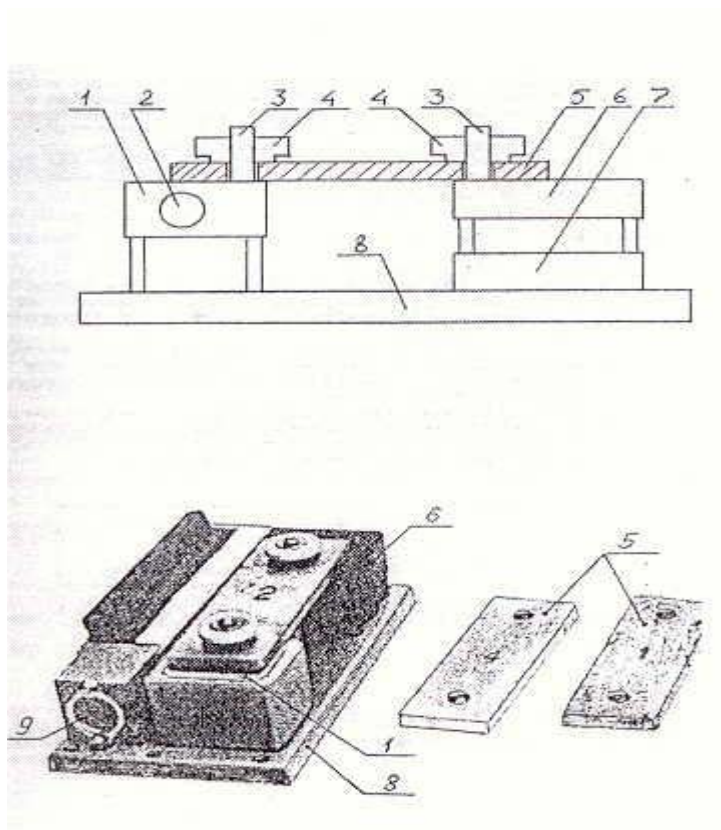


Рис.3.2.

Внутри винтов находятся датчики температуры: Д1 на нагревателе и Д2 на радиаторе. Все элементы модуля расположены на основании 8. Нагреватель, вентилятор и датчики через разъем 9 подключаются к измерительной системе.

Для определения теплопроводности образца измеряют мощность нагрева и установившуюся разность температур двух точек образца, разнесенных на расстояние 60 мм. Для уточнения тепловой мощности, поступающей в образец, следует определить мощность тепловых потерь в окружающую среду. Для этого к нагревателю вместо образца прикрепляют алюминиевую шайбу ( $\varnothing 30 \times 5$  мм), затем термостатируют нагреватель при температуре  $T_1$ , соответствующей режиму измерения теплопроводности, измеряют

напряжение и ток в нагревателе и определяют мощность, необходимую для поддержания заданной температуры в отсутствие теплоотдачи через образец.

#### **4. Требования к технике безопасности**

В данной работе факторами повышенной опасности являются электрический ток (напряжение) и повышенная температура поверхности печи.

1. Перед выполнением работы внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.

2. Не работайте на установке без защитного заземления установки.

3. Немедленно сообщите преподавателю о замеченных неисправностях.

4. Не оставляйте работающую установку без присмотра.

#### **5. Порядок выполнения работы**

1. Установить в модуле 02 исследуемую пластину.

2. Нанести по 2 капли глицерина на поверхность печи и радиатора и по 1 капле – на пластину в месте контакта с гайкой.

3. Соединить разъем “Термостат” ИСТ-3 с разъемом модуля 02 и включить сеть, при этом автоматически включится вентилятор под радиатором модуля и загорится 4-х разрядный цифровой индикатор.

4. Включите нагреватель и установите необходимую мощность ручкой регулятора “Нагрев”: для алюминиевого стержня –14-16 Вт, для латунного и стальных стержней – 8-10 Вт.

5. При подходе температуры  $T_1$  к  $70^\circ\text{C}$  застabilизируйте температуру регулятором “Температура” (добейтесь свечения двух индикаторов, зеленого и красного)

6. Снимая показания  $T_1$  и  $T_2$  через 1-3 мин., дождитесь стабилизации  $T_2$  (обычно через 10-20 мин с дрейфом не более 0,2 град в минуту).

7. Определите установившееся значение  $\Delta T = T_1 - T_2$  и мощности нагрева  $W$ . Результаты занесите в табл. 5.1.

8. Замените пластину на шайбу, термостатируйте печь при температуре  $T_1'$  близкой к установившемуся значению  $T_1$ , и определите мощность тепловых потерь  $W'$ .

9. Определите теплопроводность материала, зная расстояние  $l$  между датчиками и площадь  $S$  поперечного сечения пластины:

$$\alpha = (W - W') l / S (T_1 - T_2).$$

10. Сравните полученные экспериментальные значения коэффициентов теплопроводности для металлов и сплавов с табличными значениями некоторых диэлектриков.

Таблица 5.1

Материал	$t$ , мин.	$T_1$ , $^\circ\text{C}$	$T_2$ , $^\circ\text{C}$	$\Delta T$ , $^\circ\text{C}$	$I_{\text{н}}$ , мА	$U_{\text{н}}$ , В	$W$ , Вт

## **6. Требования к отчету**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) номер, название и цель работы;
- 2) основные положения теории метода и расчетные формулы;
- 3) схему установки;
- 4) результаты измерений и расчетов;
- 5) выводы по итогам работы.

## **7. Контрольные вопросы**

1. Какие виды теплообмена вам известны?
2. Что такое теплопроводность как физическое явление?
3. Сформулируйте основной закон теплопроводности.
4. Что такое тепловой поток, плотность теплового потока, градиент температуры?
5. В чем физический смысл коэффициента теплопроводности, в каких единицах в системе СИ он измеряется?
6. Как зависит механизм теплопроводности от агрегатного состояния вещества? В чем различие механизма теплопроводности для металлов и диэлектриков, для металлов и сплавов?
7. Как влияет химический состав сплава на коэффициент теплопроводности?
8. В чем суть метода определения коэффициентов теплопроводности?
9. Как зависит коэффициент теплопроводности металлических материалов от температуры?

## **Список литературы**

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.*, Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989.
2. *Савельев И.В.* Курс физики. – М.: Наука, 1989, Т.1.
3. *Епифанов Г.И.*, Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 1977.