

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

**Кафедра «Теплотехника и безопасность жизнедеятельности»**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ  
ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

**Методическое указание к лабораторной работе 3  
для студентов всех специальностей**

**Бишкек 2007**

РЕКОМЕНДОВАНО

На заседании кафедры  
«Теплотехника и БЖД»  
Прот. № 7 от 07.03.07

ОДОБРЕНО

Методическим советом  
Энергетического факультета  
Прот. № 6 от 26.03.07

УДК 621.1.015.4

Составитель: Суюнтбекова Н.А.

Определение коэффициента излучения твердых тел: Методическое указание к лабораторной работе 3 для студентов всех специальностей / КГТУ им. И. Раззакова / Сост. Суюнтбекова Н.А., - Б.: ИЦ «Текник», 2007. — 10 с.

Данное методическое указание предназначено студентам с целью углубления знаний по лучистому теплообмену.

Даются основные понятия лучистого теплообмена, методика проведения теплофизического эксперимента, обработки и анализа экспериментальных данных и экспериментальное определение коэффициента излучения твердых тел.

Табл.:2; Библиогр.: 2 наименов.

Рецензент к.т.н., доцент Саньков В.И.

© КГТУ им. И.Раззакова

©Суюнтбекова Н.А., 2007 г.

## Цель работы

Лабораторная работа выполняется студентами с целью углубления знаний по лучистому теплообмену. В результате выполнения лабораторной работы студенты должны усвоить основные понятия лучистого теплообмена, ознакомиться с методикой проведения теплофизического эксперимента, обработки и анализа экспериментальных данных, экспериментально определить коэффициент излучения твердых тел.

## Краткие теоретические сведения

Нагретое тело, находящееся в газообразной среде, отдает тепло в окружающее его пространство вследствие совместного протекания процессов теплоотдачи и теплового излучения.

Согласно закону сохранения энергии количество тепла, выделяющееся за единицу времени в теле  $Q_0$ , равно количеству тепла, отдаваемого за единицу времени в окружающее пространство вследствие конвективной теплоотдачи  $Q_k$  и лучистого теплообмена

$$Q_0 = Q_k + Q_{л}, \text{ Вт.} \quad (1)$$

Конвективная теплоотдача-процесс переноса тепла между поверхностью твердого тела и подвижной средой (жидкость, газ).

Тепловой поток между поверхностью твердого тела и подвижной средой определяется по уравнению Ньютона-Рихмана:

$$Q_k = \alpha_k F(t_c - t_{ж}), \text{ Вт.} \quad (2)$$

$F$ - Поверхность твердого тела,  $\text{м}^2$ ;

$t_c, t_{ж}$ - температуры поверхности твердого тела и подвижной среды,  $^{\circ}\text{C}$ .

$\alpha_k$  - коэффициент теплоотдачи, характеризует интенсивность теплообмена на границе «твердое тело подвижная среда»  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ .

Численное значение  $\alpha$ - равно количеству тепла, передаваемого от единицы поверхности твердого тела к подвижной среде в единицу времени при разности температур поверхности тела и подвижной среды в один градус.

В условиях настоящей лабораторной работы конвективная теплоотдача происходит при свободном движении воздуха вдоль вертикальной пластины.

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_k$  зависит от многих факторов и при известных значениях температур воздуха и поверхности пластины может быть определен как

$$\alpha = \frac{\text{Nu}\lambda}{h}, \quad (3)$$

где  $h$ - определяющий размер,  $\text{м}$ ;

$\lambda$ - коэффициент теплопроводности воздуха  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ ;

$\text{Nu}$ - критерий Нуссельта, определяется с помощью критериальных уравнений:

а) при ламинарном режиме движения воздуха вдоль вертикальной пластины

$$(10^3 \angle \text{Gr}_{hж} \text{ Pr}_{ж} \angle 10^9)$$

$$Nu = 0,76(Gr_{нж} Pr_{ж})^{0,25}; \quad (4)$$

б) при турбулентном режиме движения воздуха  $Gr_{нж} Pr_{ж} > 10^9$

$$Nu_{нж} = 0,76(Gr_{нж} Pr_{ж})^{0,33};$$

(5)

В уравнениях (4),(5) критерий Грасгофа  $Gr_{нж}$  определяется как

$$Gr_{нж} = g\beta(t_c - t_{ж})h^3 / \nu^2, \quad (6)$$

где  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения;  $\beta = 1/T_{опр}$ —температурный коэффициент объемного расширения воздуха,  $1/\text{К}$ ;  $\nu$ - коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Физические величины  $\nu$ ,  $\lambda$  и критерий Прандтля  $Pr_{ж}$  выбираются из таблиц физических свойств по определяющей температуре, равной температуре воздуха  $t_{ж}$  вдали от поверхности тела.

Тепловое излучение представляет собой процесс распространения внутренней энергии излучающего тела путем электромагнитных волн с длиной волны от 0,8 до 800 микрон.

Каждое тело не только непрерывно излучает, но и непрерывно поглощает лучистую энергию. В результате двойного взаимного превращения энергии (тепловая-лучистая-тепловая) осуществляется процесс лучистого теплообмена.

Следовательно, лучистый теплообмен является сложным процессом испускания, переноса в пространстве и поглощения энергии электромагнитных волн, зависящий от абсолютных температур, оптических свойств, размеров, формы и взаимного расположения тел в пространстве.

Тепловое излучение описывается следующими законами:

### 1. Закон Планка:

Интенсивность излучения абсолютно черного тела и любого реального тела зависит от температуры и длины волны:

$$E_{\lambda,0} = C_1 \lambda^{-5} / (e^{c/\lambda T} - 1),$$

где  $e$  - основание натурального логарифма;  $C_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$  - первая постоянная Планка;  $C_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$  - вторая постоянная Планка;  $\lambda$  - длина волны, м;  $T$  - абсолютная температура излучающего тела, К.

### 2. Закон Вина:

Максимальное значение интенсивности излучения соответствует длине волны, определяемой по формуле:

$$\lambda_{\max} = \frac{2,9}{T}.$$

### 3. Закон Стефана-Больцмана:

Поток излучения абсолютно черного тела пропорционален четвертой степени его абсолютной температуры:

$$E_0 = C_0 (T/100)^4,$$

где  $C_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела.

### 4. Закон Ламберта:

Максимальное излучение  $E_n$  имеет место в направлении нормали к поверхности.

$$E_\varphi = E_n \cdot \cos \varphi$$

Количество энергии, передаваемое от одного тела к другому в единицу времени, называется потоком результирующего излучения  $Q_{л}$  и может быть определено как разность энергий, излучаемых и поглощаемых этими телами.

В лабораторной работе рассматривается лучистый теплообмен в системе тел с равными плоскопараллельными поверхностями ( $F_1=F_2$ ), но различными коэффициентами излучения.

Результирующее излучение между двумя параллельными пластинами может быть определено по уравнению

$$Q_{л} = C_{пр} F \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт}, \quad (7)$$

где  $T_1, T_2$ -абсолютные температуры пластин, К;  $F$ - поверхность пластин ( $F_1=F_2=F$ ),  $m^2$ ;  $C_{пр}$ - приведенный коэффициент излучения, определяется по формуле:

$$C_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}}, \frac{\text{Вт}}{m^2 \cdot K^4}, \quad (8)$$

$C_1, C_2$ - коэффициенты излучения параллельных пластин;

$C_0 = 5,67 \text{ Вт}/m^2 \cdot K^4$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Таким образом, зная количество тепла, выделяющееся в теле за единицу времени  $Q_0$ , и тепловой поток вследствие конвективной теплоотдачи  $Q_k$ , можно определить поток результирующего теплового излучения как

$$Q_{л} = Q_0 - Q_k$$

и рассчитать приведенный коэффициент излучения по уравнению

Для пластин I и II

$$C_{пр1-2} = \frac{Q_{л1-2}}{F \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}; \quad (9)$$

$Q_{л1-2}$ - потоки результирующего излучения для первой пары пластины (I- серая, II- серая);  $T_1$  и  $T_2$ -абсолютные температуры первой и второй пластины.

Для пластин III-IV

$$C_{пр3-4} = \frac{Q_{л3-4}}{F \left[ \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_4}{100} \right)^4 \right]} \quad (10)$$

где  $Q_{л3-4}$ - потоки результирующего излучения для второй пары пластины (3- серая, 4- черная).

$T_3, T_4$ - абсолютные температуры третьей и четвертой пластины.

$$C_{\text{спр}} = \frac{Q_{\text{л}}}{F \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}. \quad (11)$$

Коэффициенты излучения пластин определяют из уравнения.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Вертикально расположенные пластины I, II, III, IV (см. рис.1) (I, II, III- серые пластины, IV- черная пластина) имеют одинаковые размеры: ширина 0,3м, высота 0,32 м.

На поверхности II и IV пластин расположено по 3 термопары, а на поверхности I и III пластин -по 5 термопар. Термопары поочередно подключаются через переключатель III и тумблер Т к потенциометру КСП со шкалой в градусах Цельсия.

Между пластинами I, III расположен электрический нагреватель V, питание которого осуществляется от сети через трансформатор (Тр); ток и падение напряжения определяется ртутным термометром (на схеме не показан).

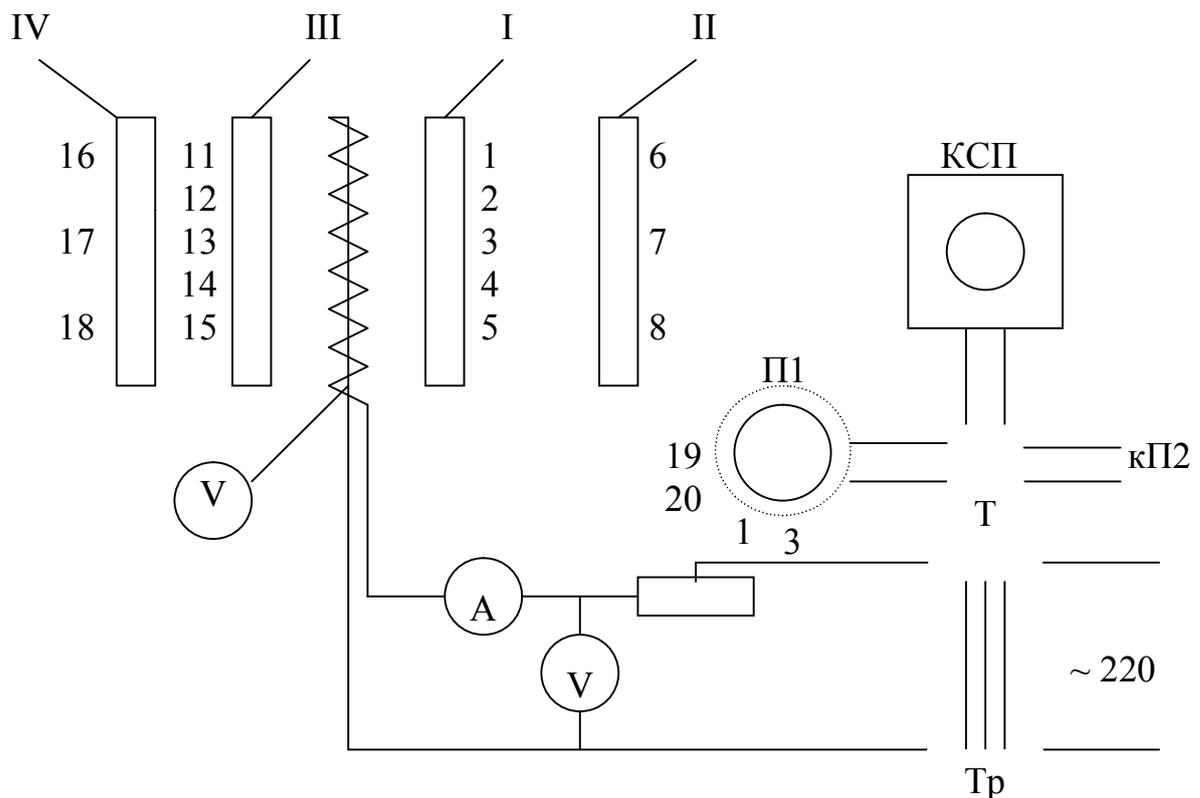


Рис. 1

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

При постоянной мощности электронагревателя  $Q_{эн}$  производится измерения температуры поверхностей пластин соответствующими термопарами (1-5 термопары- I пластина; 3-8- II пластина; 11-15- III пластина; 16-18- IV пластина), температуры воздуха вне пограничного слоя-ртутным термометром, снимаются показания амперметра и вольтметра. Измерения повторяются через 10 минут до достижения стационарного температурного поля. Результаты измерений записываются в протокол наблюдений (см. табл.1).

Так как тепловое излучение происходит между двумя парами плоскопараллельных пластин, имеющих разные приведенные коэффициенты излучения, то в результате опыта будет установлено, что средние температуры поверхностей I и III пластин не равны между собой.

### ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для обработки используются результаты последних измерений, полученные при стационарном распределении температуры. Тепло, выделяющееся в единицу времени на электронагревателе  $Q_{эн}$ , определяется по показаниям амперметра и вольтметра:

$$Q_0 = Q_{эн} = I \cdot U, \text{Вт.} \quad (12)$$

Это тепло передается с поверхности пластин I, III тепловым излучением и конвекцией.

Экспериментально установлено, что потоки результирующего излучения для первой пары пластин  $Q_{лI-II}$  (I-серая, II-серая) и для второй пары пластин  $Q_{лIII-IV}$  (III-серая, IV- черная) не равны между собой вследствие разных коэффициентов излучения и распределяются следующим образом:

$$Q_{лI-II} = 0,4 Q_{эн} - Q_k \quad (13)$$

$$Q_{лIII-IV} = 0,6 Q_{эн} - Q_k \quad (14)$$

Исходя из уравнений для определения  $Q_{л}$  необходимо выполнить расчеты по уравнениям (2)-(6), для этого:

1) по определяющей температуре  $t_{ж}$  из приложения I выбираются физические свойства жидкостей и критерий Прандтля;

2) находятся

а) критерий Грасгофа по (6);

б) режим естественной конвекции по произведению ( $Gr_{нж} \cdot Pr_{ж}$ );

в) вид критериального уравнения (4) или (5) и число Нуссельта  $Nu$ ;

г) коэффициент теплоотдачи по уравнению (3);

д) количество тепла, переданного посредством конвективного теплообмена  $Q_k$  по уравнению (2);

После определения потока результирующего излучения  $Q_{л}$  рассчитываются приведенные коэффициенты излучения для каждой пары пластин по уравнениям (10). Коэффициенты излучения серых пластин определяются из уравнения (8). Считая известным коэффициент излучения для черной пласти-

ны  $C_4 = 0,95 \cdot 5,67 = 5,387 \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ , коэффициент излучения серой пластины III определяется как

$$C_3 = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{прI-II}}} + \frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_4}}, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4. \quad (15)$$

Вследствие малой разности температур пластин I, III можно пренебречь температурной зависимостью коэффициента излучения и написать равенство  $C_1=C_3$ , тогда коэффициент излучения  $C_2$  определяется по формуле

$$C_2 = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{прI-II}}} + \frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_1}}, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4. \quad (16)$$

Результаты расчетов сводятся в табл.2.

### ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) краткие теоретические сведения;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) таблицу измерений по форме (см. табл.1);

Таблица 1

Номер измерения	I=		U=			W=					t <sub>в</sub> =					
	Термопары															
	I пластина					II пластина			III пластина					IV пластина		
	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	16	17	18
1																
2																
3																
4																

- 1) использование для расчетов формулы;
- 2) таблицу результатов расчета по форме (см. табл.2).

Таблица 2

Номер пластины	t <sub>c</sub>	Q <sub>эн</sub>	Pr <sub>ж</sub>	Gr	Nu	$\bar{\alpha}_k$ Вт/м <sup>2</sup> ·К	Q <sub>к</sub> , Вт	Q <sub>л</sub> , Вт	C <sub>пр</sub> , Вт/м <sup>2</sup> ·К <sup>4</sup>
I									
III									

Коэффициенты излучения  $C_2=C_3=C_1$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется тепловым излучением, лучистым теплообменом?
2. Дайте определение потока результирующего излучения, напишите единицу измерения.
3. Как определяется результирующее излучение при плоскопараллельном расположении поверхностей при  $F_1=F_2$  и в случае, если при  $F_1 \neq F_2$ ?
4. Единицы измерения и физический смысл коэффициента излучения серого тела.
5. Чему равен приведенный коэффициент излучения при плоскопараллельном расположении пластин, если одна из пластин приближается к абсолютно черному телу?
6. Как определяется приведенный коэффициент излучения при  $F_1=F_2$  и при  $F_1 \neq F_2$ ?
7. Сформулируйте законы Стефана-Больцмана, Планка, Кирхгофа.
8. От каких факторов зависит коэффициент излучения?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. С.34-38, 94-101, 160-182.
2. Исаченко В.П. и др. Теплопередача. М.: Энергия, 1975. С. 125-140, 231-239, 361-385.

Физические свойства сухого воздуха  
( $P_B = 760 \text{ мм рт.ст.} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ )

$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda \cdot 10^2$ Вт/(м $\cdot$ °C)	$\nu \cdot 10^6$ , м $^2$ /с	Pr
1	2	3	4
0	2,44	13,28	0,707
10	2,51	14,16	0,705
20	2,59	15,06	0,703
30	2,67	16,00	0,701
40	2,76	16,96	0,699
50	2,83	17,95	0,698
60	2,90	18,97	0,696
70	2,96	20,02	0,694
80	3,05	21,09	0,692
90	3,13	22,10	0,690
100	3,21	23,13	0,688
120	3,34	25,45	0,686
140	3,49	27,80	0,684
160	3,64	30,09	0,682
180	3,78	32,49	0,681
200	3,93	34,85	0,680
250	4,27	40,61	0,677
300	4,60	48,33	0,674
350	4,91	55,46	0,676
400	5,21	63,09	0,678

---

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗЛУЧЕНИЯ  
ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

**Методическое указания к лабораторной работе 3  
для студентов всех специальностей.**

Составитель *Суюнтбекова Н.А.*

Редактор *Монолдорова Т.А.*

Тех.редактор *Исмаилбеков М.Э.*

---

Подписано к печати 20.04.07 г. Формат бумаги 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офс. Печать офс. Объем 0,62 п.л. Тираж 300 экз. Заказ 166  
Цена 6,09 с.

---

г.Бишкек, ул, Сухомлинова, 20. ИЦ “Текник” КГТУ, т.: 56-14-55, 54-29-43  
E-mail: ict@ktu.aknet.kg, [beknur@mail.ru](mailto:beknur@mail.ru)

