

Национальный Исследовательский Университет
«Московский Энергетический Институт»

Кафедра теоретических основ теплотехники
Лаборатория тепломассообмена

Лабораторная работа №18

Определение интегральной степени черноты твердых тел

Студент: _____

Группа: _____

Преподаватель: _____

К работе допущен: _____

Работу выполнил: _____

Работу сдал: _____

Цель работы:

1. Углубление знаний о процессе переноса энергии излучением – изучение теории лучистого теплообмена, его законов; факторов, влияющих на интенсивность процесса теплового излучения.
2. Ознакомление с методами экспериментального определения степени черноты твёрдых тел.
3. Освоение калориметрического (экспериментального) и теоретического методов определения интегральной полусферической степени черноты твердых тел.

Основы определения интегральной степени черноты твёрдых тел:

Степень черноты твердых тел показывает, какую долю энергии излучения абсолютно чёрного тела составляет энергия излучения реального тела. В зависимости от ширины спектрального интервала, в котором измеряют мощности теплового излучения вещества и черного тела, различают спектральную ϵ_λ (измерения проводят в узкой области спектра) и интегральную ϵ_{th} (используют практически весь диапазон длин волн теплового излучения) степень черноты излучения. Спектральную степень черноты ϵ_λ обычно используют для определения истинной температуры тела, а интегральную степень черноты ϵ_{th} для расчёта лучистого теплообмена между телами.

Калориметрический метод, являясь абсолютным методом, позволяет в широкой области температур с высокой точностью измерять интегральную полусферическую степень черноты ϵ_{th} твердых тел. В этом методе лучистый поток определяется непосредственно по измерению количества тепла, отдаваемого телом во всю полусферу окружающего пространства.

Рассмотрим излучающую систему, состоящую из двух длинных серых соосных цилиндров. Для первого (внутреннего) цилиндра плотность потока результирующего излучения равна:

$$E_{рез1} = \sigma_0 (T_2^4 - T_1^4) / [1/\epsilon_1 + (1/\epsilon_2 - 1) F_1/F_2], \quad (1)$$

где σ_0 - постоянная Стефана - Больцмана ($\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$); ϵ_1 и ϵ_2 - интегральные степени черноты внутреннего и внешнего цилиндра соответственно; F_1 и F_2 - площади, а T_1 и T_2 - температуры этих поверхностей.

Пусть $F_1 \ll F_2$. Тогда из формулы (1) получим:

$$E_{рез1} = \epsilon_1 \sigma_0 (T_2^4 - T_1^4). \quad (2)$$

Формула (2) служит для определения интегральной полусферической степени черноты твердого тела, которое можно считать серым. Если и тела не серые, что обычно формулы (1) и (2) теряют силу. Однако при выполнении на практике условий $F_1 \ll F_2$ и $T_1^4 \gg T_2^4$, формула для $E_{рез1}$ совпадает с формулой (2). В этом случае формула (2) может быть использована для экспериментального определения интегральной полусферической степени черноты и не серые тел (например, металлов).

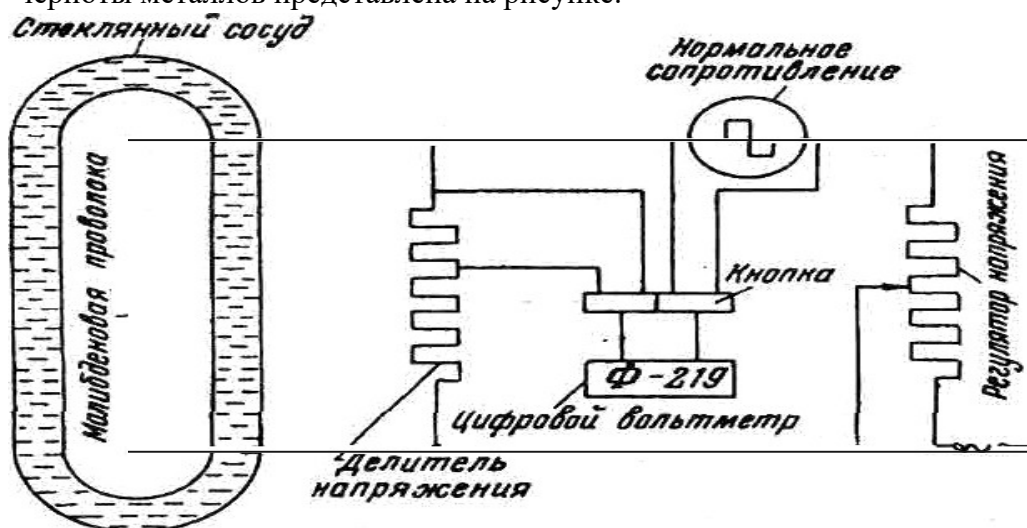
$$E_{рез1} = - Q_1 / F_1. \quad (3)$$

Таким образом, для экспериментального определения интегральной полусферической степени черноты необходимо измерить поток тепла, излучаемый поверхностью исследуемого тела Q_1 , его температуру T_1 и температуру оболочки T_2 . Расчетная формула имеет вид:

$$\epsilon_{th} = Q_1 / \sigma_0 F_1 (T_1^4 - T_2^4). \quad (4)$$

Описание экспериментальной установки:

Схема лабораторного стенда для определения интегральной полусферической степени черноты металлов представлена на рисунке.



В качестве исследуемого образца использована тонкая вольфрамовая проволока. Проволока впаяна в стеклянный сосуд с двойными стенками, между которыми циркулирует охлаждающая вода.

Проволока нагревается путем непосредственного пропускания постоянного электрического тока. Падение напряжения на проволоке измеряется цифровым вольтметром Ф-219 (класс точности 0,2) через делитель напряжения. Сила тока определяется с помощью того же вольтметра и нормального сопротивления ($R_n = 0,05 \text{ Ом}$). Температура внутренней поверхности сосуда практически равна температуре охлаждающей воды, которая измеряется термометром или термопарой (обычно Т2 — комнатная температура).

Чтобы исключить влияние конвективного теплообмена, пространство, в котором находится проволока, вакуумировано (остаточное давление воздуха внутри стеклянного сосуда - 0,1 Па).

Протокол измерений:

№	U, V	I, A
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Обработка результатов измерений лабораторной работы №18

“Определение интегральной степени черноты твердых тел”

Входные данные:

L-длина нити; d- ее диаметр; T2- температура жидкости(воздуха в нашем случае); σ_0 - константа Стефана-Больцмана; I(i)-значения силы тока на нити ; U-значения падения напряжения на нити

```
In[33]:= L = Quantity[280, "Millimeters"];
           |размерная величина
d = Quantity[0.3, "Millimeters"];
           |размерная величина
T2 = Quantity[294.65, "Kelvins"];
           |размерная величина
 $\sigma_0$  = Quantity[5.67 * 10-8,  $\frac{\text{"Watts"}}{\text{"Meters"}^2 * \text{"Kelvins"}^4}$ ];
           |размерная величина
i = Quantity[Range[1.1, 2.2, 0.1], "Amperes"];
           |размерная величина |диапазон
U = Quantity[
           |размерная величина
           {0.342, 0.424, 0.505, 0.545, 0.608, 0.770, 0.808, 0.864, 0.988, 1.068, 1.221, 1.325}, "Volts"];
```

Площадь поверхности нити F

```
In[36]:= F = UnitConvert[ $\pi * d * L$ , "Meters"2];
           |преобразовать единицы измерений
Out[36]=
0.00026389378 m2
```

Электрическая мощность:

```
In[37]:= Q = UnitConvert[U * i, "Watts"];
           |преобразовать единицы измерений
Out[37]=
{ 0.3762 W , 0.5088 W , 0.6565 W , 0.763 W , 0.912 W ,
  1.232 W , 1.3736 W , 1.5552 W , 1.8772 W , 2.136 W , 2.5641 W , 2.915 W }
```

Сопротивление нити:

```
In[38]:= R = UnitConvert[ $\frac{U}{i}$ , "Ohms"];
           |преобразовать единицы измерений
Out[38]=
{ 0.31090909  $\Omega$  , 0.35333333  $\Omega$  , 0.38846154  $\Omega$  , 0.38928571  $\Omega$  , 0.40533333  $\Omega$  ,
  0.48125  $\Omega$  , 0.47529412  $\Omega$  , 0.48  $\Omega$  , 0.52  $\Omega$  , 0.534  $\Omega$  , 0.58142857  $\Omega$  , 0.60227273  $\Omega$  }
```

Температура нити:

```
In[39]:= T1 = Quantity[1250 * QuantityMagnitude[R] - 87, "Kelvins"]
           |размерная величин... |модуль размерной величины

Out[39]= { 301.63636 K , 354.66667 K , 398.57692 K , 399.60714 K , 419.66667 K ,
          514.5625 K , 507.11765 K , 513. K , 563. K , 580.5 K , 639.78571 K , 665.84091 K }
```

Поправка П:

```
In[41]:= П = 7.640698 * 10-5 * QuantityMagnitude[T1]2 - 0.1310565 * QuantityMagnitude[T1] + 60.67072
           |модуль размерной величины

Out[41]= {28.091164, 23.800463, 20.572909, 20.500721, 19.127481,
          13.464585, 13.85911, 13.546684, 11.104555, 10.340065, 8.0979887, 7.2825259}
```

Интегральная полусферическая степень черноты:

$$\epsilon = \frac{Q}{\sigma \cdot F \cdot (T_1^4 - T_2^4) \cdot \Pi};$$

```
In[109]:= ε = ResourceFunction["DecimalRound"] [{0.00834`, 0.010199999999999999`,
           |функция ресурса
          0.013949999999999999`, 0.01689`, 0.02259`, 0.02733`, 0.030990000000000004`, 0.03555`,
          0.047099999999999996`, 0.050429999999999996`, 0.05936999999999999`, 0.06675`}, 4]

Out[109]= {0.00834, 0.0102, 0.01395, 0.01689, 0.02259,
          0.02733, 0.03099, 0.03555, 0.0471, 0.05043, 0.05937, 0.06675}
```

Интегральная степень черноты ε в виде функции от температуры T1:

```
In[118]:= εfromT1 = Table[{QuantityMagnitude[T1[[i]]], ε[[i]]}, {i, 1, Length[T1]}]
           |таблиц... |модуль размерной величины |длина

Out[118]= {{291.40909, 0.00834}, {301.54167, 0.0102}, {365.88462, 0.01395}, {386.21429, 0.01689},
          {463.83333, 0.02259}, {498.9375, 0.02733}, {501.23529, 0.03099}, {515.08333, 0.03555},
          {628.78947, 0.0471}, {604.875, 0.05043}, {651.69048, 0.05937}, {669.81818, 0.06675}}
```

Стандартные значения степени черноты:

```
In[121]:= εFromT1Standard = {{400, 0.03}, {600, 0.06}, {800, 0.081}, {1000, 0.105}};
```

In[122]:=

```

ListLinePlot[{ $\epsilon_{\text{fromT1}}$ ,  $\epsilon_{\text{fromT1Standard}}$ }, InterpolationOrder  $\rightarrow$  Automatic,
  PlotLabel  $\rightarrow$  "Сравнение расчетной степени черноты со стандартной", PlotTheme  $\rightarrow$  "Scientific",
  PlotLegends  $\rightarrow$  {"Experimental  $\epsilon_{\text{experimental}}(T1)$ ", "Standard  $\epsilon_{\text{standard}}(T1)$ "},
  ImageSize  $\rightarrow$  Medium, GridLines  $\rightarrow$  Automatic]

```

Out[122]=

