



ФИЗИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
Государственное образовательное
учреждение лицей № 1547



Лабораторная работа:
**Измерение коэффициента теплопроводности
воздуха**

Под редакцией Богданова Г.С.

Москва 2013

Измерение коэффициента теплопроводности воздуха

Цель работы:

Измерение коэффициента теплопроводности воздуха.

Теоретические основы работы

Явление теплопроводности состоит в возникновении направленного переноса внутренней энергии в газообразных, жидких и твердых телах при наличии в них пространственных неоднородностей температуры. В стационарном одномерном случае явление теплопроводности описывается уравнением Фурье, которое имеет вид:

$$q_e = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Здесь q_e - удельный тепловой поток - физическая величина, равная количеству теплоты, переносимой через площадку DS , перпендикулярную направлению движения тепла за время Dt :

$$q_e = \frac{\Delta Q}{\Delta S \cdot \Delta t} ; \quad (2)$$
$$\frac{dT}{dx}$$

k - коэффициент теплопроводности, $\frac{dT}{dx}$ - градиент температуры - изменение температуры вдоль направления потока тепла.

В данной лабораторной работе определение коэффициента теплопроводности воздуха производится методом нагреваемой нити. Измерения проводятся при помощи специального прибора, схема которого показана на рис.1. Прибор представляет собой два коаксиальных стеклянных цилиндра (1) и (2), которые закрыты с торцов теплоизолирующими и электроизолирующими пробками (3) и (4). Через эти пробки во внутренний цилиндр проведена проволочная нить (5), которая нагревается электрическим током. В результате передачи тепла во внешнее пространство температуры цилиндров T_1 и T_2 - разные. При этом имеется в виду внешняя поверхность внутреннего и внутренняя поверхность внешнего цилиндра. Чтобы исключить передачу тепла за счет конвекции цилиндры располагают вертикально, для этой же цели предназначены пробки (3) и (4). Измерение разности температур производится дифференциальной термопарой хромель-копель (7).

Для вывода расчетной формулы используем уравнение Фурье (1) и учтем, что передача теплоты происходит не от плоскости к плоскости вдоль одной пространственной координаты декартовой системы координат, а от одной цилиндрической поверхности к другой, т.е. вдоль радиуса цилиндров

$$q_e = -k \frac{dT}{dr} \quad (3)$$

В приборе, который используется в данной лабораторной работе, перенос теплоты за счет теплопроводности осуществляется между двумя коаксиальными цилиндрами с радиусами r_1 и r_2 и высотой h . Температуры цилиндров в установившемся режиме T_1 и T_2 . Передача теплоты от внутреннего цилиндра к внешнему может происходить за счет трех процессов - теплопроводности, конвекции и лучеиспускания. Уравнение Фурье относится только к процессу теплопроводности, конвекция исключена принятыми мерами - вертикальное расположение цилиндров и теплоизолирующие пробки на их торцах. Теплопередачу за счет лучеиспускания нужно не учитывать, т.к. температура внутреннего цилиндра не превышает 100°C .

Количество теплоты Q , стекшее с цилиндра r_1 в единицу времени и попавшее на цилиндр r_2 , целиком пройдет через любую цилиндрическую поверхность радиуса r . Иными словами, полный тепловой поток не зависит от радиуса цилиндрической поверхности. Его можно определить как произведение удельного теплового потока при данном значении радиуса r на площадь поверхности соответствующего радиуса $S=2\pi rh$

$$QT = qe \cdot 2\pi rh \quad (4)$$

Умножим левую и правую части уравнения (3) на $2\pi rh$:

$$2\pi rhq_e = -2\pi rh \cdot k \frac{dT}{dr}$$

или

$$Q_T = -2\pi rh \cdot k \frac{dT}{dr} \quad (5)$$

Это дифференциальное уравнение можно решить методом разделения переменных. Для

этого умножим левую и правую части (5) на $\frac{dr}{r}$:

$$Q_T \frac{dr}{r} = -2\pi rh \cdot k \cdot dT \quad (6)$$

В левой части (6) - только переменная r , а в правой - только переменная T , поэтому можно проинтегрировать левую и правую части независимо друг от друга. Пределы интегрирования в левой части - r_1 и r_2 , а в правой - T_1 и T_2 :

$$Q_T \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -2\pi rh \cdot k \cdot \int_{T_1}^{T_2} dT \quad (7)$$

Взяв интегралы, получаем:

$$Q_T (\ln r_2 - \ln r_1) = -2\pi h \cdot k \cdot (T_2 - T_1) \quad (8)$$

Учитывая, что

$$\ln r_2 - \ln r_1 = \ln \frac{r_2}{r_1},$$

получаем:

$$Q_T = 2\pi h \cdot k \cdot (T_2 - T_1) \frac{1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (9)$$

Это и есть тепловой поток от первого цилиндра ко второму за счет теплопроводности.

Он должен равняться тепловой мощности, которая выделяется во внутреннем цилиндре за счет нагревания проволочной нити электрическим током

$$Q = Q_T \quad (10)$$

или, подставляя значения входящих сюда величин:

$$I \cdot U = 2\pi h \cdot k \cdot (T_1 - T_2) \frac{1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (11)$$

Это уравнение полного баланса энергии. Из него найдем коэффициент теплопроводности воздуха:

$$k = \frac{I \cdot U \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi h \cdot (T_1 - T_2)} \quad (12)$$

В данной работе используется дифференциальная термопара, которая измеряет разность температур $DT = T_1 - T_2$. Расчетная формула при этом записывается в виде:

$$k = \frac{I \cdot U \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi h \cdot \Delta T} \quad (13)$$

Значения I и U так же как и ΔT измеряются компьютерной измерительной системой, а величины r_1 и r_2 приведены в таблице.

Оборудование:

- прибор для измерения теплопроводности воздуха
- USB адаптер
- датчик температуры и напряжения
- блок питания

Подготовка к проведению эксперимента

1. Соберите экспериментальную установку по рис.1

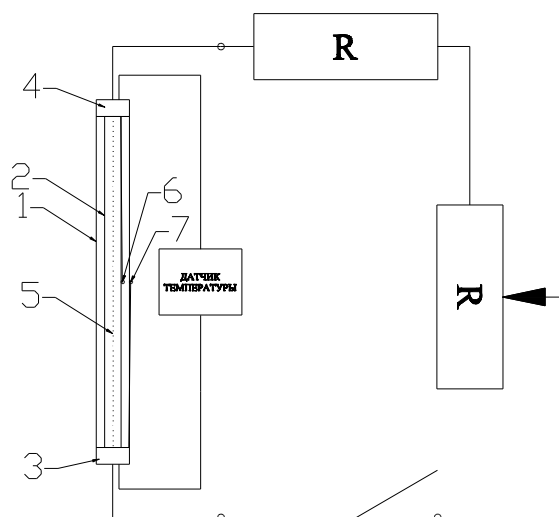





рис.1

2. Включите компьютер запустите программу «Практикум» иконкой . При загрузке программа должна идентифицировать присоединенные датчики и загрузиться окно регистрации данных. Выберите сценарий выполнения работы «**Определение теплопроводности воздуха**» двойным кликом левой кнопки мыши.
3. Запустив регистрацию кнопкой **Пуск** .
4. Включите блок питания в сеть и наблюдайте рост разности температур поверхностей цилиндров на экране компьютера. Как только значение ΔT перестанет изменяться (достижение стационарного режима теплопередачи), остановите регистрацию кнопкой **Стоп** .
5. Внесите разность температур в таблицу.

r_1 , м	r_2 , м	h , м	ΔT , К	I , А	U , В	k , Вт/(м·К)
0.0065	0.0085	0,15				

6. Рассчитайте силу тока в цепи нагревателя на основе закона Ома для участка цепи ($I = U_R/R$) и внесите полученное значение в таблицу.
7. Рассчитайте значение коэффициента теплопроводности воздуха k , используя параметры установки и полученные данные. Внесите полученный результат в таблицу.