

# Лабораторная работа № 1

## Исследование теплопередачи через однослойную огнеупорную плоскую стенку.

**Цель работы:** ознакомление с теоретическими основами стационарного теплового режима и экспериментальное определение плотности теплового потока, проходящего через однослойную плоскую стенку.

### Общие сведения.

В теплопередаче исследуются распределение температуры в системе тел или внутри отдельного тела, а также процесс перехода тепла, связанный с различием температур.

Различают три вида передачи тепла: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

**Теплопроводностью** называется процесс переноса энергии, происходящий вследствие движения и энергетического взаимодействия микрочастиц (молекул, атомов, ионов, электронов).

Передача тепла теплопроводностью наиболее характерно осуществляется в гомогенных твердых непрозрачных телах. В газах и жидкостях, как правило, одновременно действует теплопередача конвекцией и излучением. В прозрачных телах наряду с теплопроводностью наблюдается излучение.

Тепловое состояние термодинамической системы (тела) характеризуется **температурным полем**, под которым понимается совокупность значений температур для всех точек тела в данный момент времени. Различают одномерное  $T = f(x)$ , двумерное  $T = f(x, y)$  и трехмерное  $T = f(x, y, z)$  температурное поле.

Процесс, характеризующийся постоянством температуры во времени, называется **стационарным (установившимся) тепловым режимом**.

Для такого поля можно записать:

$$T = f(x, y, z) = \text{const}; \quad \frac{dT}{d\tau} = 0$$

Если по объему тела температурное поле неоднородно, то всегда будут существовать микрообъемы, имеющие одинаковые температуры. Совокупность точек тела с одинаковыми значениями температур образует **изотермические линии или поверхности**. Конфигурация изотермических линий или поверхностей в реальных процессах может быть различной. Поток теплоты вдоль изотермической поверхности отсутствует, так как вдоль нее нет разности температур. Максимальное изменение температуры имеет место в направлении нормали к изотермической поверхности.

Количественной характеристикой того, насколько резко изменяется температура на бесконечно малом участке тела (практически в точке) служит температурный градиент ( $^{\circ}\text{C}/\text{м}$ ):

$$\text{grad } T = \frac{dT}{dx} + \frac{dT}{dy} + \frac{dT}{dz} = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta T}{\Delta n} \right)$$

**Температурный градиент** – это вектор, нормальный к изотермической поверхности, направленный в сторону возрастания температуры и численно равный производной от температуры.

Если температурное поле одномерно, т.е.  $T$  изменяется только вдоль одной оси, то

$$\text{grad } T = \frac{dT}{dx}$$

Интенсивность процесса переноса теплоты теплопроводностью определяется **законом Фурье**. Количество переданной теплоты пропорционально падению температуры, времени и площади сечения, перпендикулярного направлению распространения теплоты:

$$dQ = -\lambda \text{grad } T \, dF \, dt = -\lambda \frac{dT}{dn} \, dF \, dt \text{ или } Q^* = -\lambda F \tau \text{grad } T \text{ (Дж)}$$

Количество теплоты, проходящее за единицу времени через изотермическую поверхность площадью  $F$ , называется **тепловым потоком**. (Вт).

$$Q = -\lambda F \text{ grad } T$$

Тепловой поток, отнесенный к единице площади изотермической поверхности, называется **плотностью теплового потока**  $q$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ):

$$q = -\lambda \text{ grad } T$$

Знак «-» показывает, что направления векторов градиента температур и теплового потока противоположны.

**Коэффициент теплопроводности**  $\lambda \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right)$ , характеризует способность вещества проводить теплоту и определяется как количество теплоты, которое проходит через единицу площади изотермической поверхности при температурном градиенте равном единице. На величину коэффициента теплопроводности оказывают влияние температура, давление, объемная масса материала, пористость и характер распределения пор, влажность, химический состав и структура материала.

Рассмотрим процесс теплопроводности через неограниченную плоскую однослойную стенку толщиной  $s$  и коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  (постоянный). Температуры на наружной и внутренней поверхностях ( $T_1$  и  $T_2$ ) известны и постоянны.

Плотность теплового потока по закону Фурье выражается следующим образом:

$$q = -\lambda \operatorname{grad} T = -\lambda \frac{dT}{dx}.$$

Температуру в любой точке рассматриваемой плоской стенки можно определить из выражения:

$$T = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{s} x,$$

где  $x$  – расстояние от поверхности с температурой  $T_1$  до рассматриваемого сечения.

Теплопроводность зависит от температуры и закон распределения температуры по толщине стенки является параболическим. Но обычно зависимость коэффициента теплопроводности от температуры принимают линейной:

$$\lambda = \lambda_0 [1 \pm b(T - T_0)],$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности при температуре  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ ;  
 $b$  – температурный коэффициент, определяемый опытным путем.

Чаще закон теплопроводности Фурье для рассматриваемого случая записывают:

$$q = \frac{\lambda}{s} (T_1 - T_2)$$

Отношение  $\frac{\lambda}{s}$  называется **тепловой проводимостью**, а величина обратная ей – **термическим сопротивлением**. ( $R = \frac{s}{\lambda}$ ).

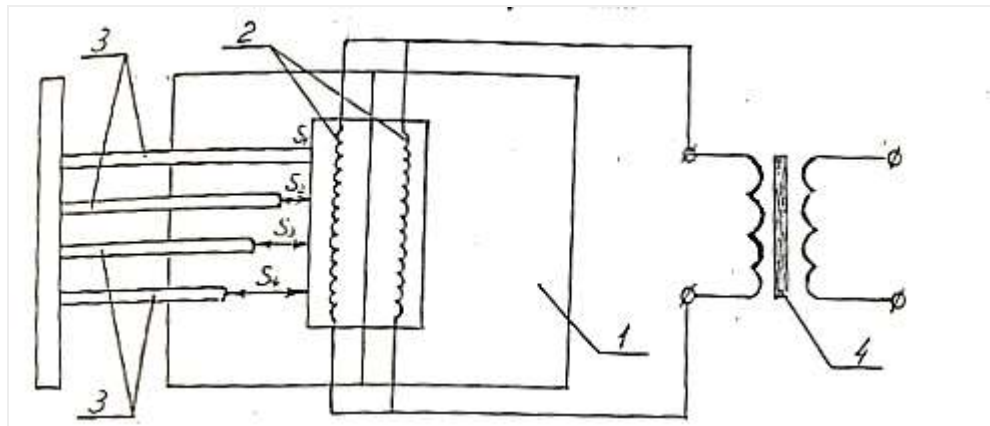
В связи с вышеизложенным в данной работе ставится задача исследовать характер изменения плотности теплового потока в зависимости от изменения толщины однослойной стенки.

### **Практическая часть.**

1. Для проведения лабораторной работы необходимы: экспериментальная установка с нагревателями, градусники.

Установка состоит из следующих элементов: 1 - Установка из шамотного кирпича с просверленными отверстиями:  $s_1 = 0$ ,  $s_2 = 20$ ,  $s_3 = 30$ ,  $s_4 = 40$  (мм); 2 - Нагреваемые спирали; 3 - Градусники; 4 - Понижающий трансформатор.

### Схема установки.



2. Снимаем показания температуры на различном расстоянии от источника нагрева через каждые 2 мин в течении 20 мин. Результаты записываем в виде таблицы:

τ мин	t, °C			
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
0	16	16	16	16
2	33	16	16	16
4	52	20	17	17
6	65	28	19	17
8	86	35	21	17
10	94	44	26	21
12	110	51	30	25
14	120	60	35	28
16	134	70	40	32
18	142	77	45	36
20	152	86	51	39

3. По результатам эксперимента строим графики изменения температуры по времени для каждого s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>, s<sub>3</sub>, s<sub>4</sub>. (Под пунктом 4)

4. Рассчитываем плотность теплового потока для определенного момента времени (τ = 10 мин) в каждой из точек s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>, s<sub>3</sub>, s<sub>4</sub>, принимая λ<sub>ш</sub> = 0,835 (средняя справочная величина) Вт/(м°С) по формуле:

$$q = \frac{\lambda_{ш}}{s} (T_1 - T_0),$$

где T<sub>1</sub> – температура в точке s<sub>1</sub>, T<sub>0</sub> – температура внешней среды (16°).

$$q_1 = \frac{0,835}{0} (94 - 16) = \infty$$

$$q_2 = \frac{0,835}{20} (44 - 16) = 1,169$$

$$q_3 = \frac{0,835}{30}(26 - 16) = 0,278$$

$$q_4 = \frac{0,835}{40}(21 - 16) = 0,104$$

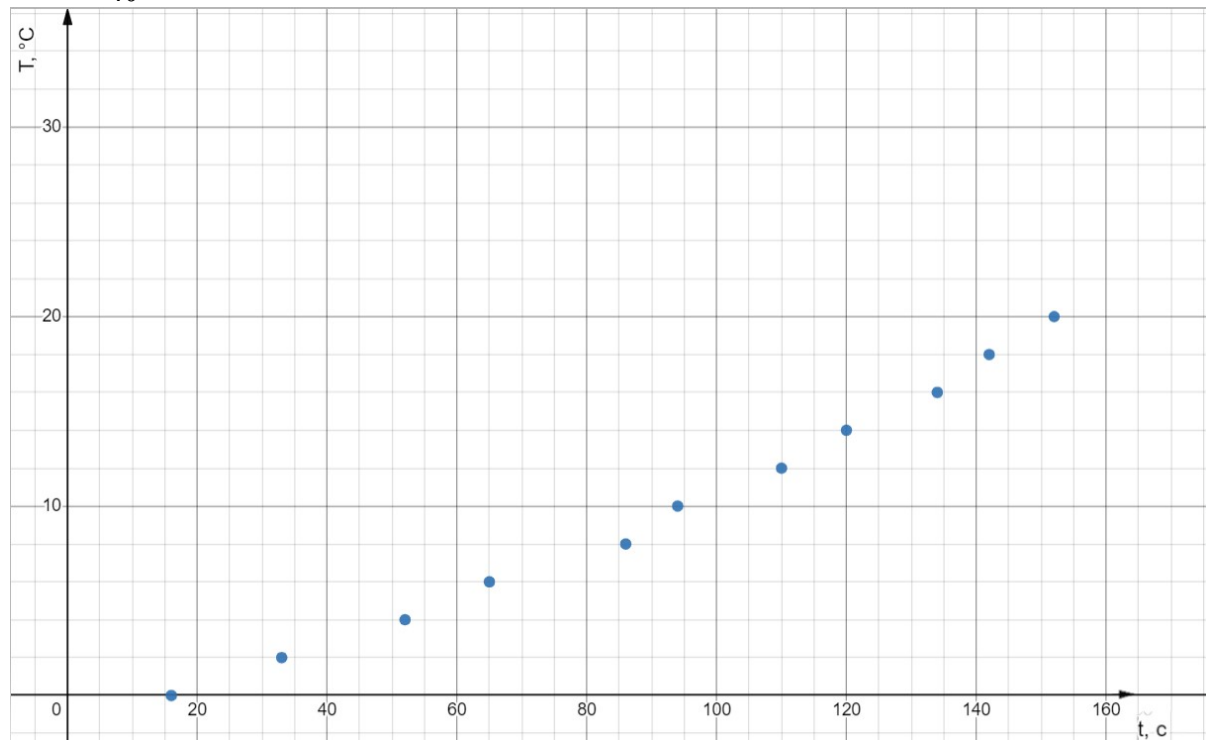


График зависимости температуры от времени

5. Вывод: ознакомились с теоретическими основами стационарного теплового режима и экспериментально определили плотности теплового потока, проходящего через однослойную плоскую стенку.