

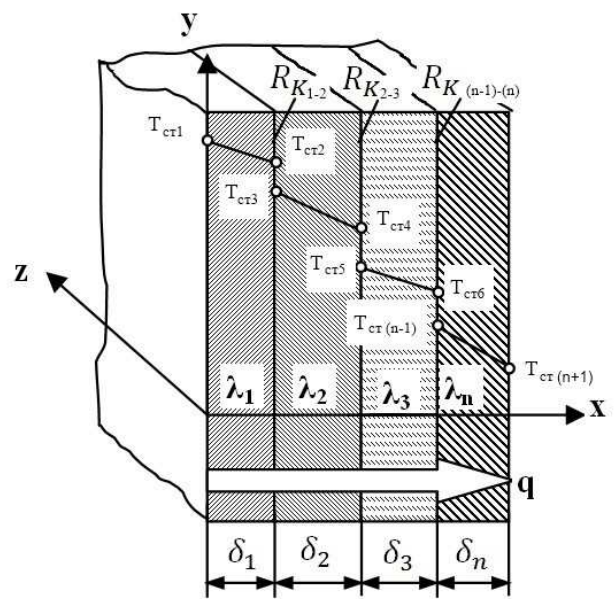
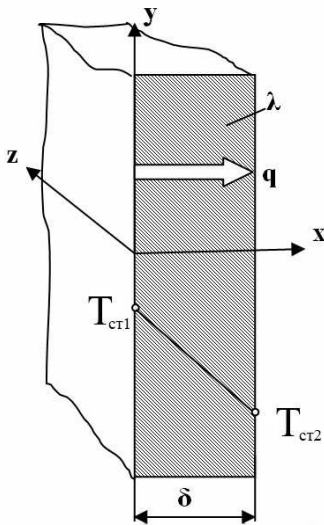
**План занятия:**

1. Теплопроводность
2. Задачи

**1. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ**

Основные соотношения для расчёта процессов теплопроводности в твёрдой стенке:

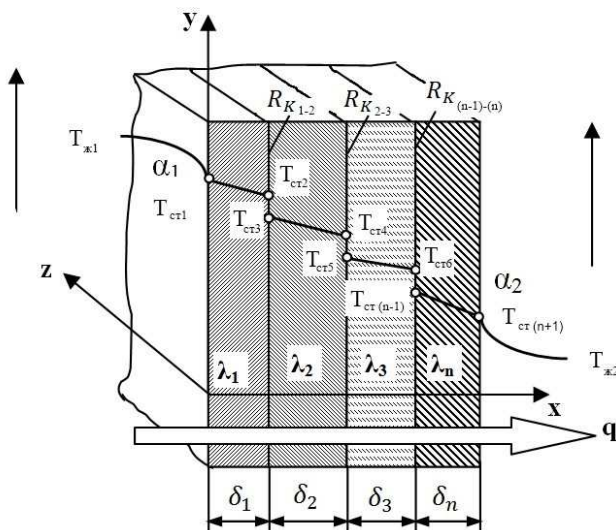
1. Теплопроводность плоской стенки
2. Теплопроводность плоской многослойной стенки



$$q = \frac{\lambda}{\delta} (T_{cr1} - T_{cr2}) \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2} \right]$$

$$q = \frac{T_{cr1} - T_{cr2}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \sum_{i=1}^{n-1} R_{K_{i-(i+1)}}} \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2} \right]$$

3. Теплопередача через плоскую многослойную стенку



$$q = \frac{T_{ж1} - T_{ж2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \sum_{i=1}^{n-1} R_{K_{i-(i+1)}} + \frac{1}{\alpha_2}} \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{М}^2} \right]$$

$$k_{\text{внут.}} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \text{внутреннее}$$

термическое сопротивление

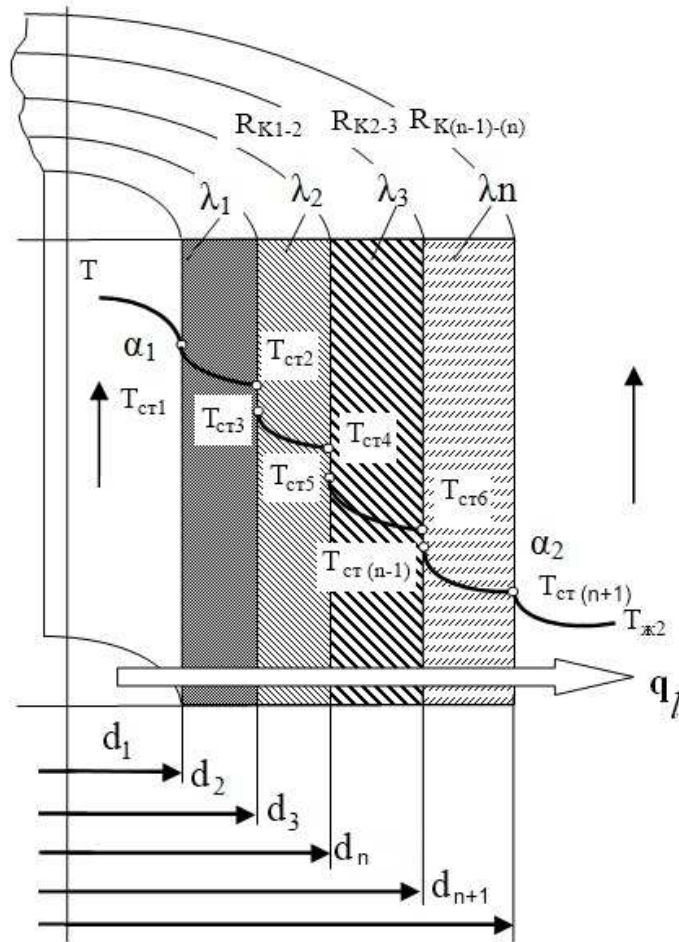
$$k_{\text{конт.}} = \sum_{i=1}^{n-1} R_{K_{i-(i+1)}} - \text{контактное}$$

термическое сопротивление

$$k_{\text{внеш.}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} - \text{внешнее}$$

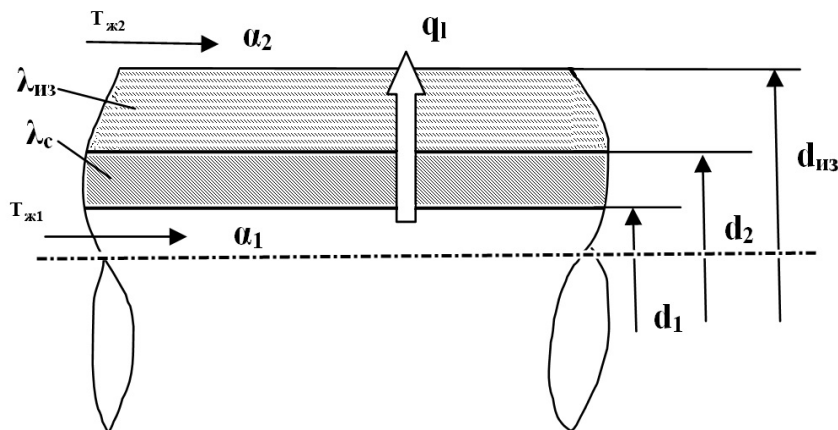
термическое сопротивление

#### 4. Теплопередача через цилиндрическую многослойную стенку



$$q_l = \frac{\pi(T_{ж1} - T_{ж2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{R_{K_{i-(i+1)}}}{d_{i+1}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{n+1}}} \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{М}} \right]$$

#### 5. Критический диаметр тепловой изоляции



$$d_{кр} = \frac{2 \cdot \lambda_{из}}{\alpha_2}$$

Полный тепловой поток и количество теплоты

$$\bar{Q} = q \cdot S \text{ [Вт]}; \bar{Q} = q_l \cdot S \text{ [Вт]}; Q = q \cdot S \cdot \tau \text{ [Дж]}; Q = q_l \cdot S \cdot \tau \text{ [Дж]}$$

## 2. ЗАДАЧИ

### Задача №1

Определить, сколько теплоты передается ежечасно через стенки картера авиадвигателя, если толщина стенок  $\delta = 5,5$  мм, поверхность  $F = 0,6$  м<sup>2</sup>, температура на внутренней поверхности картера  $t_{cr1} = 75^{\circ}\text{C}$ , на наружной  $t_{cr2} = 68^{\circ}\text{C}$ , а средний коэффициент теплопроводности стенок  $\lambda = 175$  Вт/(м·град).

### Задача №2

Определить толщину тепловой изоляции  $\delta$ , выполненной из: альфоля или шлаковой ваты. Удельные потери теплоты через изоляционный слой  $q = 523$  Вт/м<sup>2</sup>, температуры его поверхностей  $t_{cr1} = 700^{\circ}\text{C}$  и  $t_{cr2} = 40^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности альфоля при толщине воздушных слоев 10 мм  $\lambda = 0,0302 + 0,000085 \cdot t$  и коэффициент теплопроводности шлаковой ваты  $\lambda = 0,058 + 0,000145 \cdot t$ .

### Задача №3

Определить количество теплоты, проходящее через единицу длины стенки камеры сгорания ЖРД диаметром  $d = 180$  мм, если толщина стенки  $\delta = 2,5$  мм, коэффициент теплопроводности материала из хромоникелевой стали марки 1X18Н9Т  $\lambda = 34,9$  Вт/(м·град). Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными и равными  $t_{cr1} = 1200^{\circ}\text{C}$  и  $t_{cr2} = 600^{\circ}\text{C}$ .

### Задача №4

Для условий задачи 3 определить количество теплоты, прошедшее через единицу длины стенки камеры сгорания ЖРД с защитным покрытием толщиной  $\delta_{п} = 0,5$  мм и его коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{п} = 2,67$  Вт/(м·град).

### Задача №5

Определить температуры на поверхностях соприкосновения слоев стенки  $t_{cr2}$  камеры сгорания ЖРД и на внешней поверхности, если диаметр камеры  $d = 190$  мм, толщина защитного покрытия  $\delta_{п} = 1$  мм и его коэффициент теплопроводности  $\lambda_{п} = 1,15$  Вт/(м·град), а толщина основной стенки  $\delta = 2$  мм и ее коэффициент теплопроводности  $\lambda = 372$  Вт/(м·град). Удельный тепловой поток  $q = 407500$  Вт/м<sup>2</sup>, температура на поверхности покрытия со стороны камеры  $t_{cr1} = 1200^{\circ}\text{C}$ .

### Задача №6

Определить удельный тепловой поток, проходящий через стенку рабочей лопатки газовой турбины, если средние температуры на поверхностях стенки соответственно равны  $t_{cr1} = 650^{\circ}\text{C}$  и  $t_{cr2} = 630^{\circ}\text{C}$ ; толщина стенки лопатки  $\delta = 2,5$  мм и  $\lambda = 23,85$  Вт/(м·град).

### Задача №7

Определить удельный тепловой поток с учетом и без учёта сопротивления контакта через многослойную плоскую стенку, состоящую из слоя окиси циркония толщиной  $\delta_1 = 0,2$  мм, слоя стали толщиной  $\delta_2 = 6$  мм и слоя алюминия толщиной  $\delta_3 = 10$  мм, если температуры на внешних поверхностях стенки поддерживаются постоянными и

равными  $t_{\text{ст}1} = 1200^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{ст}2} = 400^{\circ}\text{C}$ ; коэффициент теплопроводности окиси циркония  $\lambda_1 = 1,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ , стали  $\lambda_2 = 34,9 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$  и алюминия  $\lambda_3 = 422 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ ; термическое сопротивление контакта между слоями окиси циркония, и стали  $R_{\text{к}1-2} = 0,258 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$ , а между слоями стали и алюминия  $R_{\text{к}2-3} = 0,266 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$ .

#### **Задача №8**

Для условия задачи 7 определить температуры на контактирующих поверхностях каждого слоя.

#### **Задача №9**

Стенка камеры сгорания РД диаметром 200/206 мм покрыта с внутренней стороны слоем тугоплавкого покрытия толщиной  $\delta_{\text{п}} = 1 \text{ мм}$  коэффициенты теплопроводности стенки камеры и покрытия соответственно равны  $\lambda_{\text{с}} = 41,8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$  и  $\lambda_{\text{п}} = 1,395 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$  температура на внутренней поверхности покрытия  $t_{\text{ст}1} = 2500^{\circ}\text{C}$  и на внешней поверхности стенки  $t_{\text{ст}3} = 500^{\circ}\text{C}$ . Определить удельный тепловой поток на единицу длины стенки и температуры поверхностей стенок в зоне контакта, если термическое сопротивление контакта  $R_{\text{к}1-2} = 0,757 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$ .

#### **Задача №10**

Стальные шины прямоугольного сечения 90 x 3 мм находятся под током 320 Ампер. Определить объемную производительность внутренних источников теплоты и температуру на поверхности шины, если коэффициент теплопроводности шины  $\lambda = 57 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$  а удельное электрическое сопротивление ее  $\rho = 0,13 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ . Определить также, каким должен быть коэффициент теплоотдачи с поверхности шины, чтобы температура ее не превышала  $75^{\circ}\text{C}$ .

#### **Задача №11**

Решить задачу 10 при условии, что шины изготовлены из латуни, удельное электрическое сопротивление которых  $\rho = 0,04 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$  и коэффициент теплопроводности  $\lambda = 104 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{град})$ .