

Часть 2

Основы теории теплообмена

Занятие 12

Теплопередача. Сложный теплообмен. Теплопередача между двумя жидкостями через разделяющую их стенку.

Теплопередача через плоскую стенку: основное уравнение и коэффициент теплопередачи. Интенсификация теплопередачи.

Теплообменные аппараты. Классификация.

Расчет теплообменных аппаратов.

Сложный теплообмен – процесс передачи теплоты двумя или тремя способами одновременно

Суммарный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l$$

Где коэффициент теплоотдачи излучением:

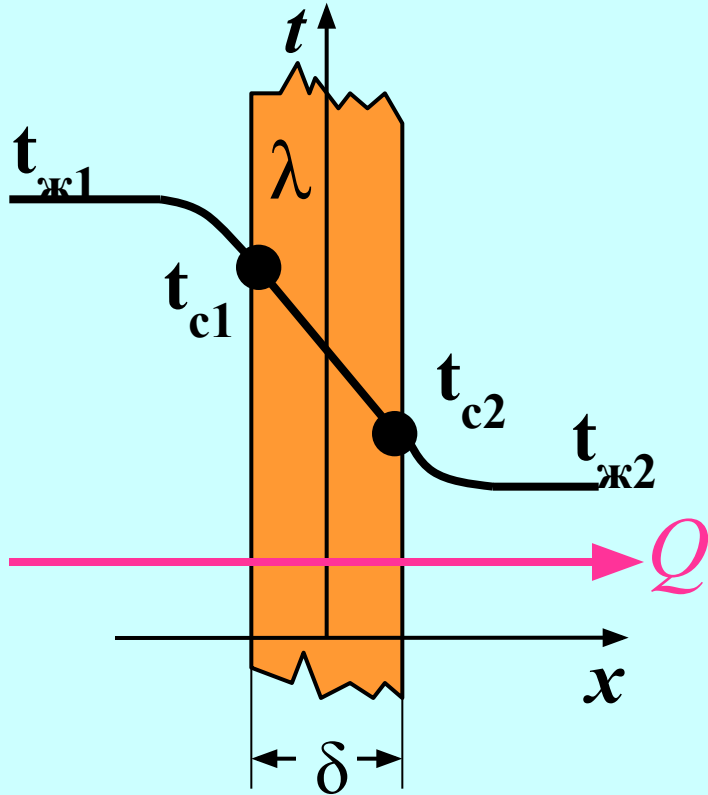
$$\alpha_l = \frac{q_l}{t_c - t_2}$$

Суммарное термическое сопротивление теплоотдачи:

$$R_\alpha = \frac{1}{\alpha_k + \alpha_l} = \frac{1}{\alpha}$$

Теплопередача

- стационарный процесс переноса теплоты от одного теплоносителя к другому через разделяющую их стенку



$$t_{ж1} - t_{c1} = \frac{Q}{\alpha_1 F} = QR_{\alpha 1}$$

$$t_{c1} - t_{c2} = QR_{\lambda}$$

$$t_{c2} - t_{ж2} = \frac{Q}{\alpha_2 F} = QR_{\alpha 2}$$

$$t_{ж1} - t_{ж2} = Q \left(\frac{1}{\alpha_1 F} + R_{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2 F} \right)$$

$$Q = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{\frac{1}{\alpha_1 F} + R_\lambda + \frac{1}{\alpha_2 F}} = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{R_{\alpha 1} + R_\lambda + R_{\alpha 2}} = K(t_{ж1} - t_{ж2})$$

K – коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{R_{\alpha 1} + R_\lambda + R_{\alpha 2}} \quad \frac{Вт}{К}$$

R_K – термическое сопротивление теплопередачи

$$R_\alpha = R_{\alpha 1} + R_\lambda + R_{\alpha 2} = \frac{1}{K}$$

Для многослойной стенки:

$$K = \frac{1}{R_{\alpha 1} + \sum_{i=1}^n R_{\lambda i} + R_{\alpha 2}} \quad \frac{Вт}{К}$$

Температура стенок:

$$t_{c1} = t_{ж1} - \frac{Q}{\alpha_1 F}$$

$$t_{c2} = t_{ж2} + \frac{q}{\alpha_2}$$

Удельная величина:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \frac{Вт}{м^2 К}$$

**Коэффициент теплопроводности
- λ**

Коэффициент теплоотдачи - α

Коэффициент теплопередачи - k

Интенсификация теплопередачи

$$Q = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda} + R_{\alpha 2}} = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{\frac{1}{\alpha_1 F} + R_{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2 F}}$$

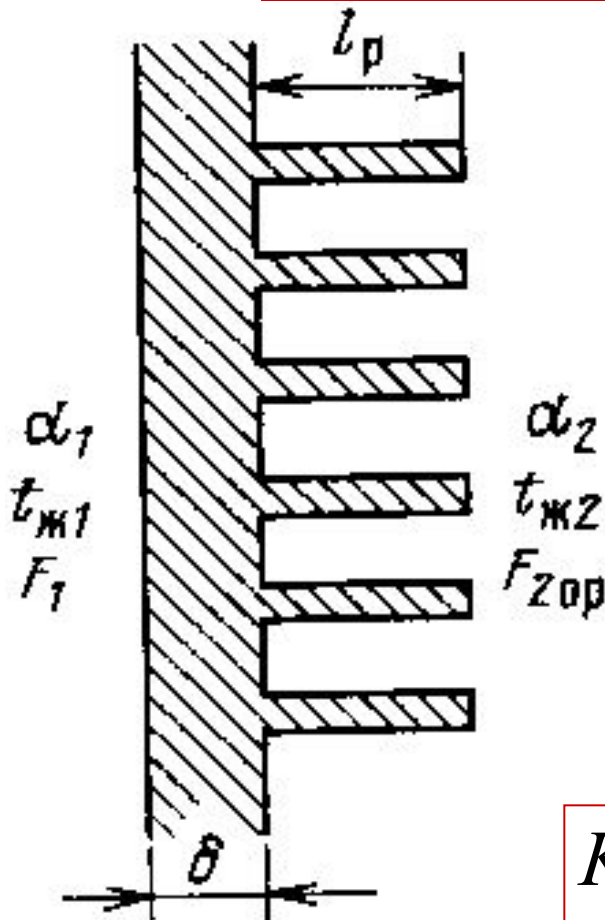
коэффициент оребрения:

$$K_{op} = \frac{F_{op}}{F_{гл}}$$

Термосопротивление оребренной поверхности:

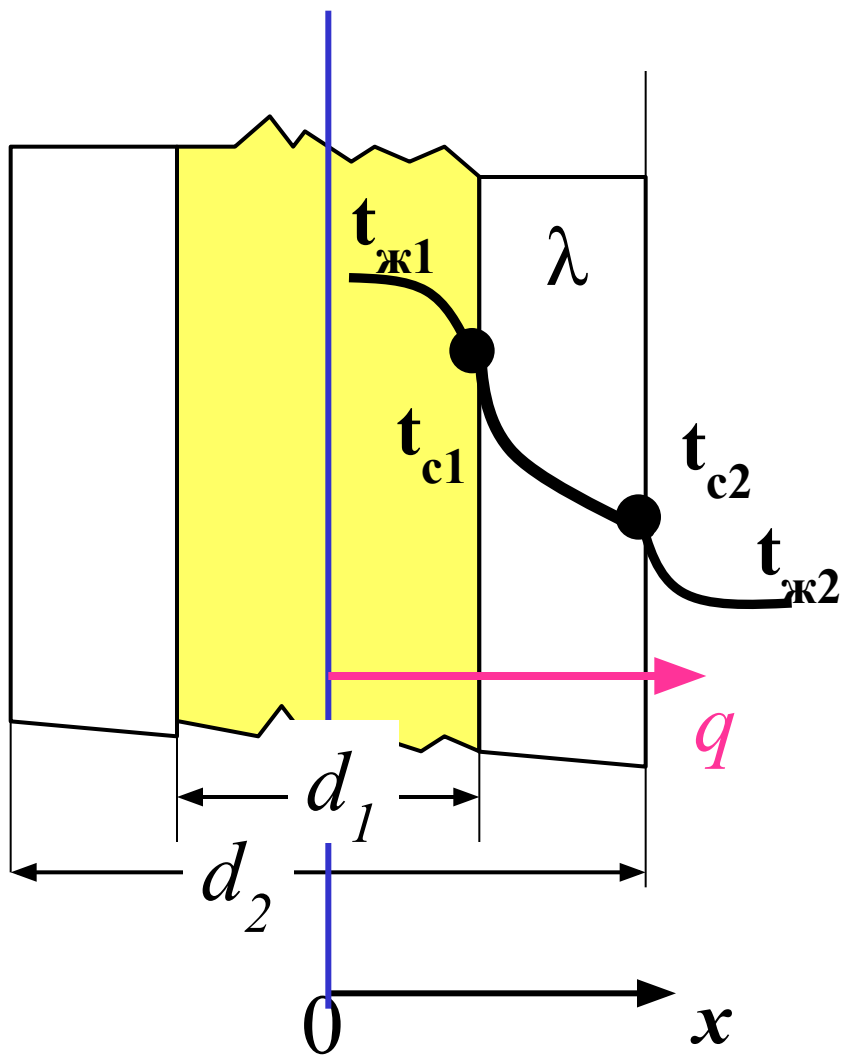
$$R_{\alpha op} = \frac{1}{\alpha_2 F_{op}}$$

$$Q = \frac{t_{ж1} - t_{ж2}}{R_{\alpha 1} + R_{\lambda} + \frac{R_{\alpha 2}}{10}}$$



$$K_{op} = 10$$

Теплопередача через цилиндрическую стенку



$$q_l = \pi d_1 \alpha_1 (t_{\alpha 1} - t_{c1})$$

$$q_l = \frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (t_{c1} - t_{c2})$$

$$q_l = \pi d_2 \alpha_2 (t_{c2} - t_{\alpha 2})$$

$$t_{\alpha 1} - t_{c1} = q_l \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1}$$

$$t_{c1} - t_{c2} = q_l \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

$$t_{c2} - t_{\alpha 2} = q_l \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}$$

$$t_{\alpha 1} - t_{\alpha 2} = \Delta t = q_l \left(\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2} \right)$$

Теплопередача через цилиндрическую стенку

$$q_l = \frac{\Delta t}{\left(\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2} \right)}$$

k_l – коэффициент теплопередачи

$$k_l = \frac{1}{\left(\frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2} \right)}$$

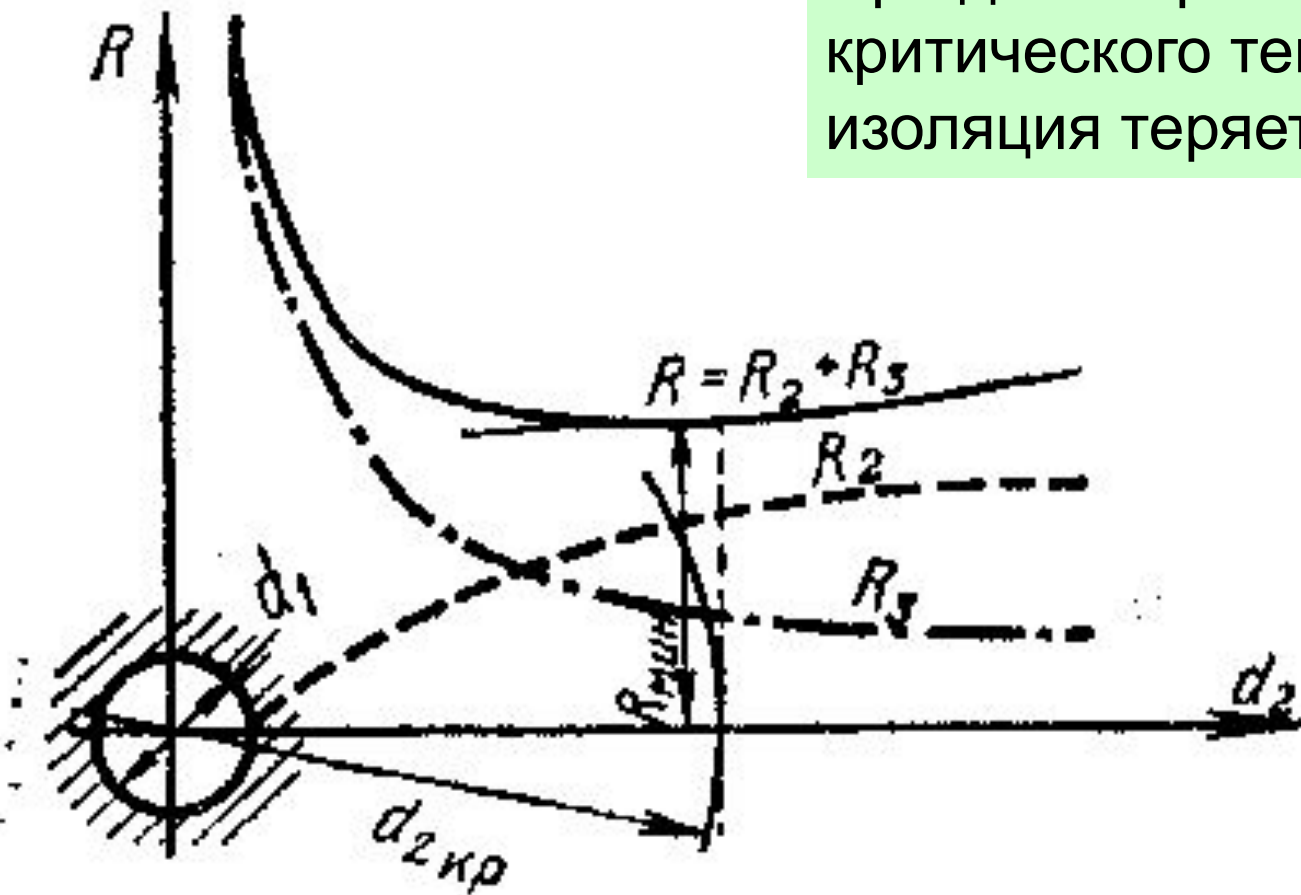
Сопротивление теплопередачи $\frac{1}{k_l} = R_l$

$$R_l = \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2} = R_1 + R_2 + R_3$$

Теплопередача через цилиндрическую стенку

$$R_l = \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2} = R_1 + R_2 + R_3$$

При диаметре меньше критического тепловая изоляция теряет свою роль



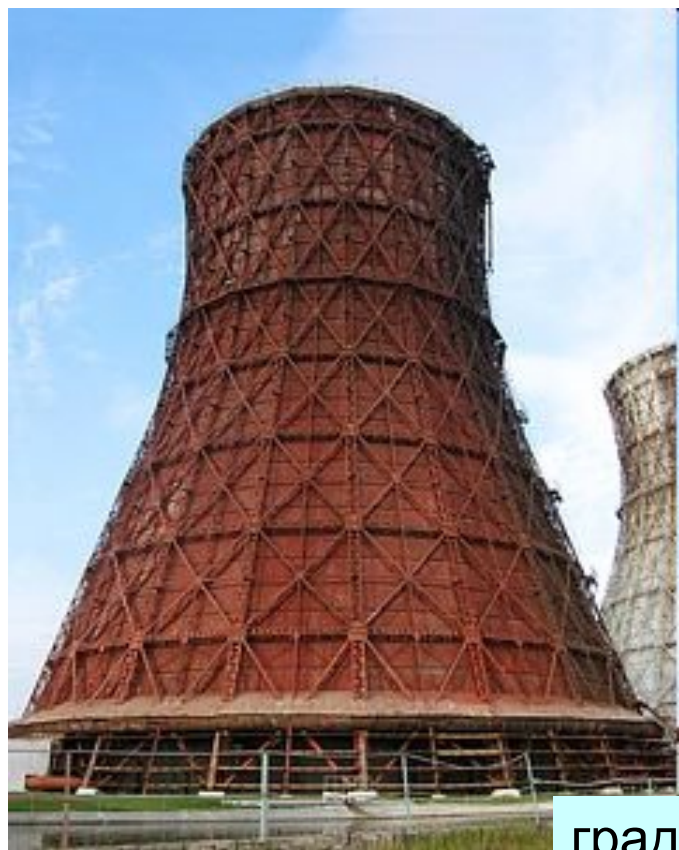
Сталь – 6,6м
Асбест – 24 мм
Бетон – 160 мм

Теплообменные аппараты

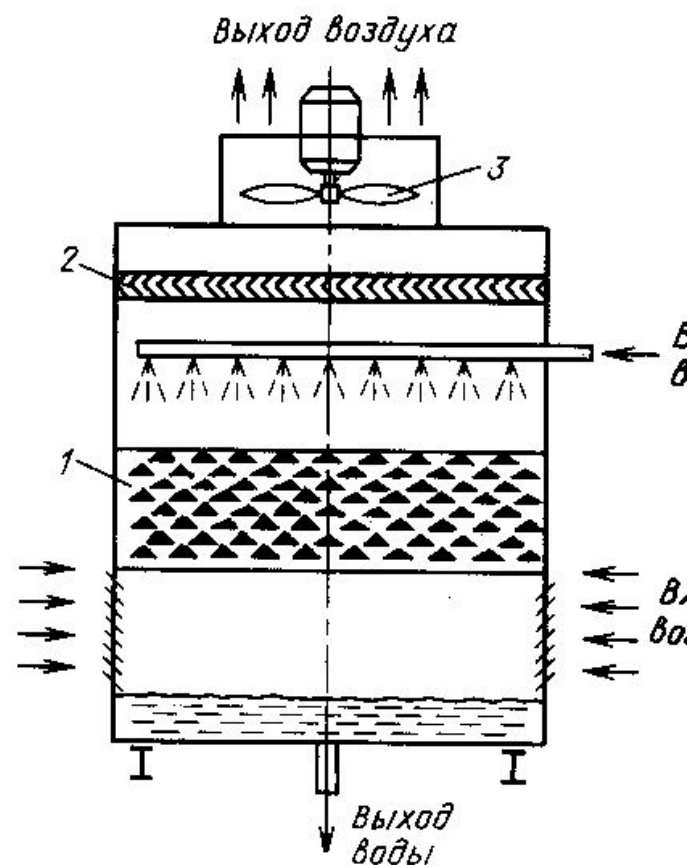
- устройство, предназначенное для нагрева, охлаждения или для изменения агрегатного состояния теплоносителя

По способу передачи теплоты классифицируются:

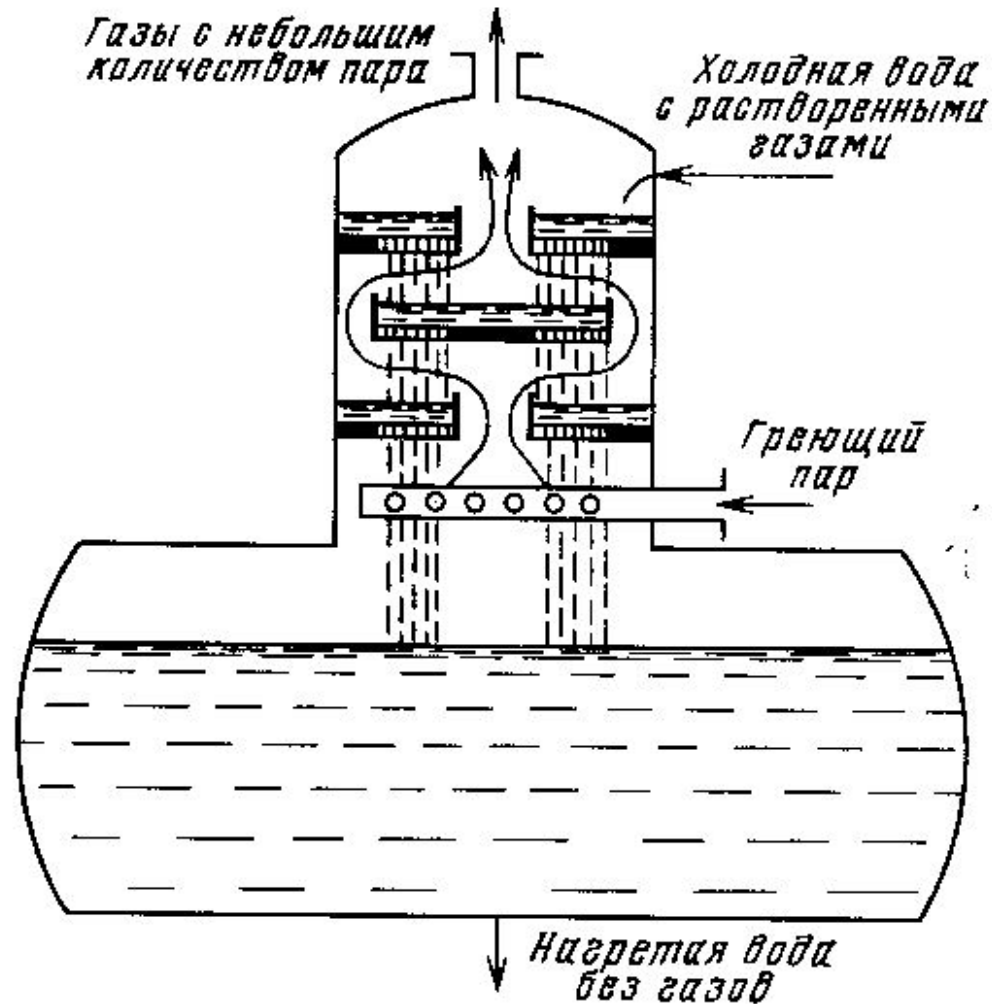
1. Смесительные



градирня



Теплообменные аппараты



Струйный смесительный теплообменный аппарат для подогрева воды паром при термической деаэрации

Теплообменные аппараты

2. Рекуперативные (поверхностные)

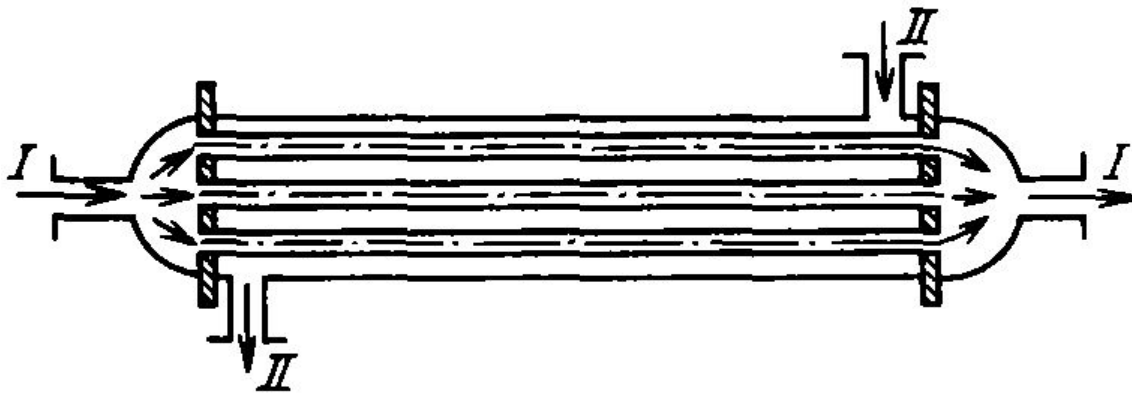
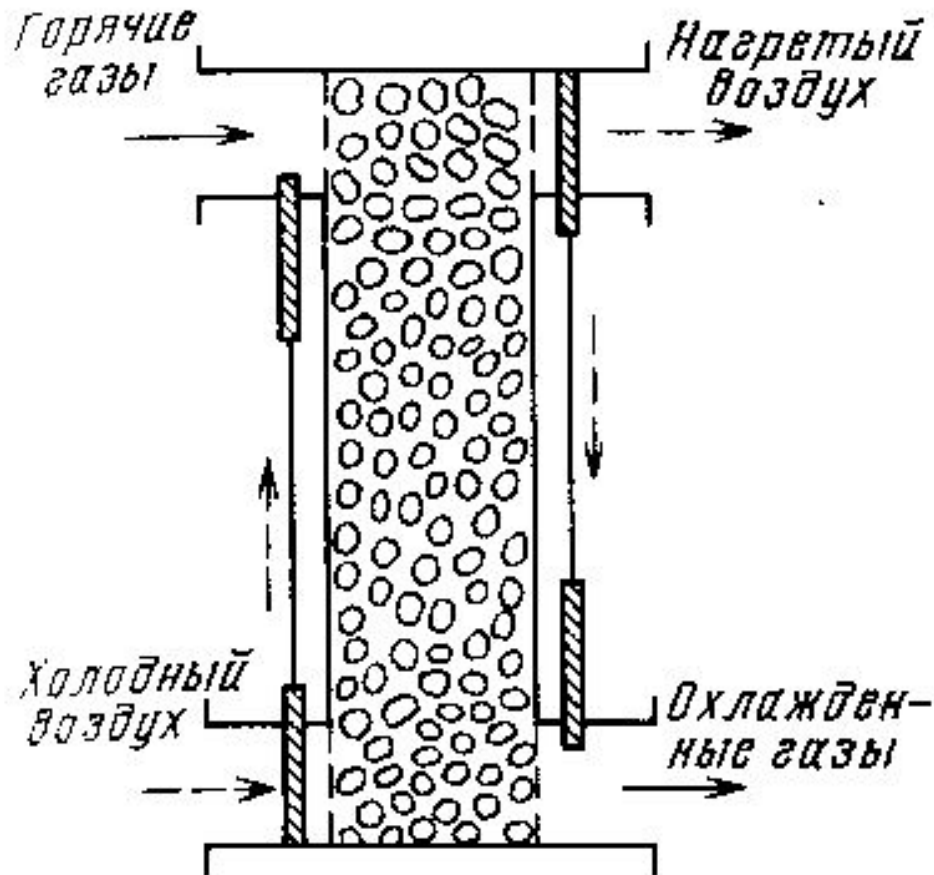


Схема кожухотрубчатого рекуперативного теплообменника для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому.

3. Регенеративные



Используется промежуточный теплоноситель:

- Листы металла
- Кирпич
- Сыпучий материал
- Пар и его конденсат

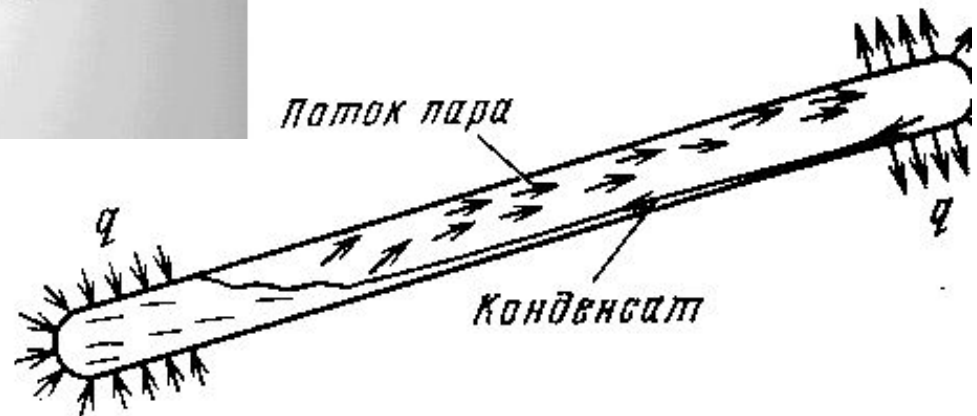
Теплообменные аппараты

3. Регенеративные



Тепловая труба

Термосифон



Расчет теплообменных аппаратов

Основные уравнения:

1. Уравнение теплопередачи:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t$$

2. Уравнение теплового баланса:

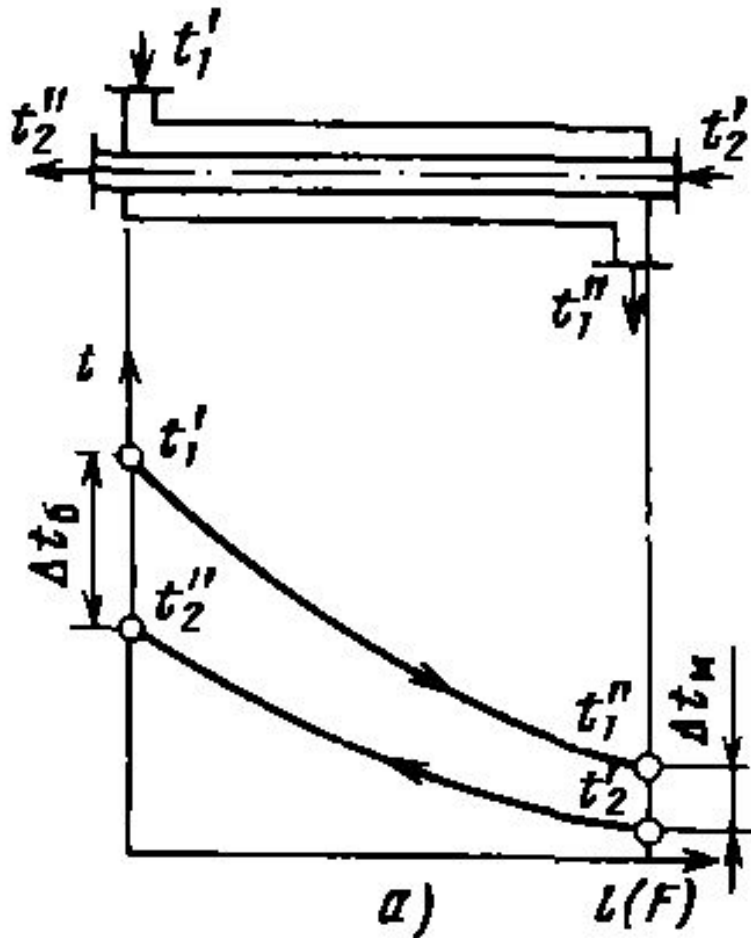
$$Q = m_1 c_1 (t_1' - t_1'') = m_2 c_2 (t_2'' - t_2')$$

Где m - расход теплоносителя:

$$m = v \rho S$$

Расчет теплообменных аппаратов

3. При нестационарном процессе $\Delta t \neq \text{const}$, поэтому используют средний температурный напор Δt_{cp}



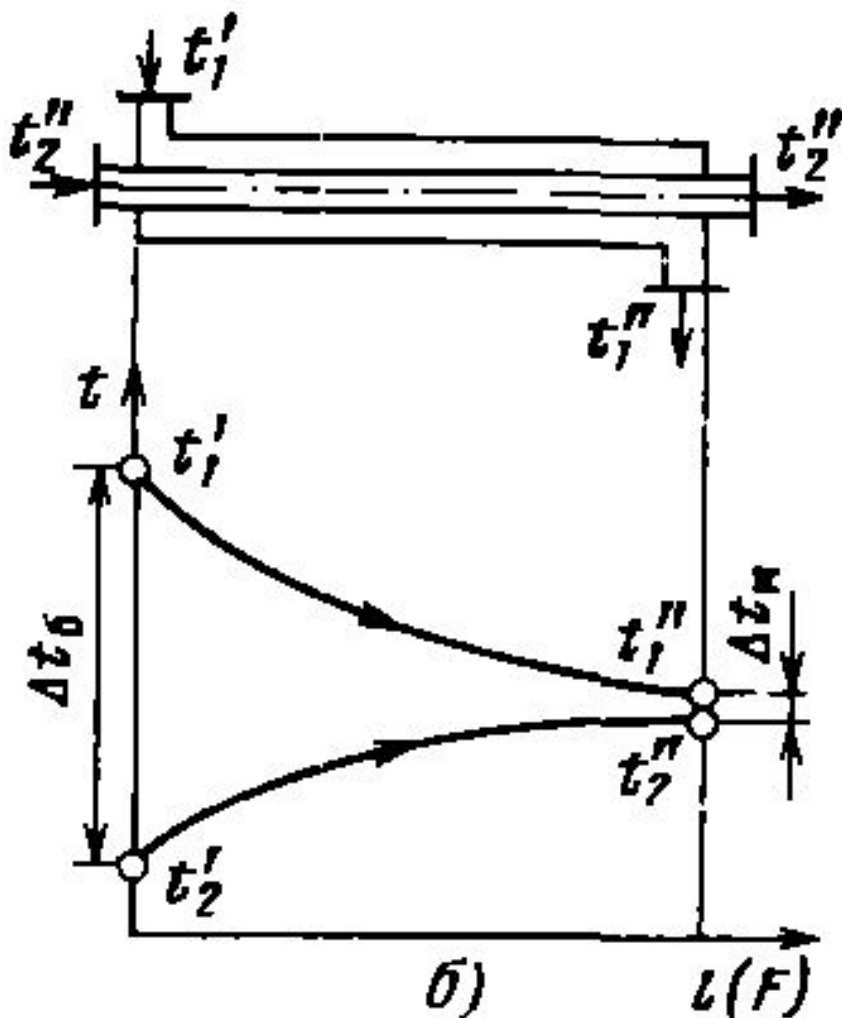
а) противоток

$$\Delta t_{\text{max}} = t_1' - t_2''$$

$$\Delta t_{\text{min}} = t_1'' - t_2'$$

Расчет теплообменных аппаратов

б) прямоток



$$\Delta t_{\max} = t_1' - t_2'$$

$$\Delta t_{\min} = t_1'' - t_2''$$

$$t_2'' > t_1''$$

Может быть только при противотоке!!!

Средний логарифмический температурный напор:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{max}} - \Delta t_{\text{min}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{max}}}{\Delta t_{\text{min}}}}$$