

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, ОСНОВЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Лекция №7

## План лекции:

1. Теплообменные аппараты. Общие сведения
2. Классификация теплообменных аппаратов
3. Тепловой расчёт рекуперативных теплообменных аппаратов
4. Гидравлический расчёт теплообменных аппаратов

## 1. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Теплообменными аппаратами** (теплообменниками) называются устройства, предназначенные для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому.

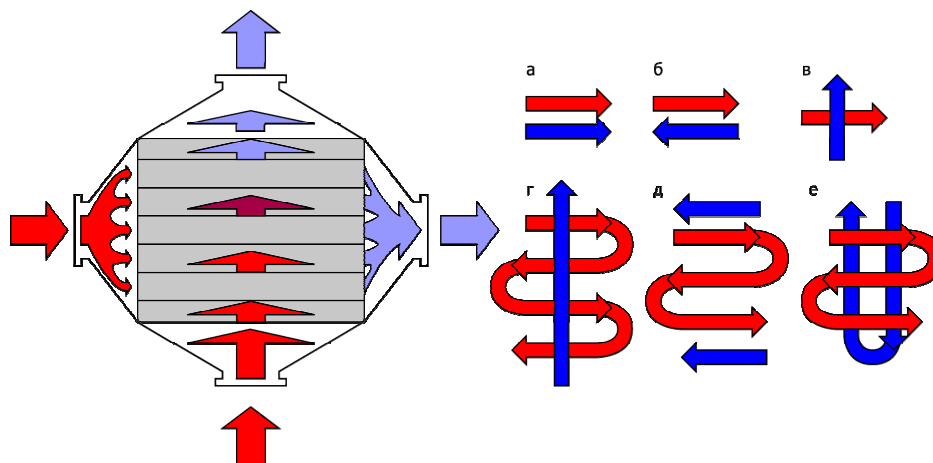
Необходимость передачи теплоты от одного теплоносителя к другому возникает во многих отраслях техники. Теплообменники применяют в системах охлаждения, кондиционирования, холодильных системах, в энергетических установках.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

По принципу действия теплообменники подразделяют на три вида: **рекуперативные, регенеративные и смешительные.**

**Рекуперативные** теплообменники представляют собой два изолированных друг от друга канала, разделённых поверхностью теплообмена (**рабочей поверхностью теплообменника**).

Теплоносители омывают стенку с двух сторон и обмениваются при этом теплотой. Процесс теплообмена протекает непрерывно и имеет обычно стационарный характер.



**Рекуперативные теплообменники подразделяют:**

(в зависимости от направления движения теплоносителей)

**Прямоточные** (а) - теплоносители движутся параллельно в одном направлении.

**Противоточные** (б) - теплоносители движутся параллельно в противоположных направлениях.

**Теплообменники с перекрестным током** - теплоносители движутся во взаимно перпендикулярных направлениях, при этом возможен **однократный** (в) и

**многократный** (г) перекрестный ток. Возможны также **сложные схемы движения** теплоносителей (д) и (е).

(в зависимости от формы рабочей поверхности)

**Трубчатые** – один из теплоносителей движется внутри труб, другой омывает эти трубы снаружи.

**Пластинчатые** – рабочая поверхность таких теплообменников образована набором параллельных плоских пластин. Каналы между пластинами объединены через один общими коллекторами и образуют, таким образом, полости для каждого из теплоносителей.

(по способу использования)

**Регенераторы** - теплообменники, предназначенные для утилизации теплоты в газотурбинных установках.

**Радиаторы** - теплообменники для рассеивания теплоты горячей воды в окружающее пространство (например, в системе охлаждения автомобильного двигателя).

**Воздухоподогреватели.**

**Маслоохладители.**

**Пароперегреватели.**

И т.д.

**Регенеративные** теплообменники состоят из теплообменной поверхности, которая поочередно омывается то горячим, то холодным теплоносителем.

При соприкосновении с горячим теплоносителем стенка аккумулирует теплоту, а затем отдает ее холодному теплоносителю. Рабочие стенки таких теплообменников должны обладать значительной теплоемкостью. В регенеративных теплообменниках реализуется нестационарный режим теплообмена. Чтобы процесс теплообмена протекал непрерывно при одинаковой продолжительности периода нагрева и охлаждения, такой теплообменник должен иметь две параллельно работающие секции.

**Смесительные теплообменники (контактные)** конструктивно выполняются таким образом, что процесс теплообмена сопровождается перемешиванием теплоносителей, т. е. они непосредственно соприкасаются друг с другом.

Процесс теплообмена в таком аппарате имеет стационарный характер и может сопровождаться испарением жидкости. Смесительный теплообменник целесообразно использовать для таких теплоносителей, которые легко разделить после теплообменного аппарата. Например, такой парой теплоносителей является вода и воздух.

### **3. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ РЕГУЛИРУЕМЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

Различают **конструктивный и проверочный** тепловой расчет теплообменного аппарата.

**Конструктивный расчет** необходим для определения величины рабочей поверхности теплообменника, которая является исходным параметром при его

проектировании. При этом должно быть известно количество передаваемой теплоты или массовые расходы теплоносителей и изменение их температуры.

**Проверочный расчет** выполняется для теплообменника с известной величиной поверхности. Цель расчета состоит в определении температур теплоносителя на выходе из теплообменника и количества передаваемой теплоты.

Рабочий процесс рекуперативного теплообменника описывается двумя уравнениями: **уравнением теплового баланса и уравнением теплопередачи.**

**Уравнение теплового баланса** идеального теплообменника (без потерь тепла в окружающую среду) записывается следующим образом:

$$Q = G_1 \overline{c_{p1}} \Delta T_1 = G_2 \overline{c_{p2}} \Delta T_2, \quad (1)$$

где:  $G_1, G_2$  - массовые расходы теплоносителя в каналах теплообменника,  $\overline{c_{p1}}, \overline{c_{p2}}$  - средние значения теплоёмкостей теплоносителей в каналах теплообменника для диапазонов температур  $\Delta T_1, \Delta T_2$  соответственно.  $\Delta T_1 = T_{1вх} - T_{1вых}$ ,  $\Delta T_2 = T_{2вых} - T_{2вх}$  - перепады температур теплоносителя на входе и выходе из каналов теплообменника.

**Уравнение теплопередачи** имеет вид:

$$Q = \int_0^F k(f) \Delta T(f) df = kF \overline{\Delta T}, \quad (2)$$

где:  $k(f), \Delta T(f)$  - локальное значение коэффициента теплопередачи и температурного напора в каждой точке поверхности теплообмена  $k, \overline{\Delta T}$  - средний по всей площади канала коэффициент теплопередачи и температурный напор,  $F$  - площадь поверхности теплообмена.

Формулу для определения среднего температурного напора можно получить, используя балансовые соотношения (2) и (1):

$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (3)$$

- эта формула выражает **среднелогарифмический температурный напор.**

Если  $\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = 0.6 \dots 1.67$ , то формула (3) упрощается:

$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \quad (4)$$

- эта формула выражает **среднеарифметический температурный напор.**

Для **прямоточных и противоточных** рекуперативных теплообменников формулы (3) и (4) выполняются точно. Для теплообменников с **перекрёстным током** в формулы вносится поправка, значение которой можно найти в справочной литературе:

$$\Delta T_{\text{перекр.}} = \epsilon \Delta T \quad (5)$$

Если в пределах аппарата условия теплообмена на отдельных участках рабочей поверхности различны, то **коэффициенты теплообмена и теплопередачи**

подсчитываются для каждого участка в отдельности, и затем определяется среднее для всей поверхности значение коэффициента теплопередачи по формуле:

$$k = \sum_{i=1}^n k_i \frac{F_i}{F} \quad (6)$$

**Конструктивный расчёт** заканчивается определением площади поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{k\Delta T} \quad (7)$$

**Проверочный расчёт** состоит в определении температуры теплоносителей на выходе из теплообменника. Соотношения, позволяющие определить входную температуру теплоносителей, также могут быть получены из уравнения баланса тепла (1) и уравнения теплопередачи (2). При этом для различных схем течения теплоносителей итоговые соотношения будут разными.

Например, для **прямоточного теплообменника** температура на выходе из первого канала может быть определена, как:

$$T_{1\text{вых}} = T_{1\text{вх}} - (T_{1\text{вх}} - T_{2\text{вх}}) \frac{1 - \exp \left[ - \left( 1 + \frac{G_1 c_{p1}}{G_2 c_{p2}} \right) \frac{kF}{G_1 c_{p1}} \right]}{1 + \frac{G_1 c_{p1}}{G_2 c_{p2}}} \quad (8)$$

на выходе из второго, как:

$$T_{2\text{вых}} = T_{2\text{вх}} + (T_{1\text{вх}} - T_{2\text{вх}}) \cdot \Pi \quad (9)$$

Для сложных схем течения существует справочный набор функций, позволяющих проводить проверочный расчёт.

#### 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ

**Гидравлический расчёт** теплообменника необходим для определения затрат механической энергии на перемещение теплоносителей в аппарате.

При гидравлическом расчёте теплообменника необходимо учитывать **сопротивление трения, местные сопротивления и тепловое сопротивление.**

**Сопротивление трения** определяется по известной формуле:

$$\Delta p_{\text{тр.}} = \xi \frac{L}{d} \frac{\rho \bar{w}_x^2}{2}, \quad (10)$$

где:  $L, d$  - длина и эквивалентный диаметр канала,  $\rho$  - плотность теплоносителя,  $\bar{w}_x$  - среднерасходная скорость теплоносителя.

**Коэффициент сопротивления трения**  $\xi$  в зависимости от режима течения теплоносителя можно определить по формулам:

$$\xi = \frac{64}{\text{Re}} \cdot \left( \frac{\text{Pr}_{\text{ст}}}{\text{Pr}_0} \right)^{0.33} \quad \text{- ламинарный режим} \quad (11)$$

$$\xi = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \cdot \left( \frac{Pr_{ст}}{Pr_0} \right)^{0.33} \quad \text{- турбулентный режим} \quad (12)$$

Число Рейнольдса  $Re = \frac{\rho \bar{w}_x d}{\mu}$  - определяется по среднерасходной скорости течения теплоносителя и по эквивалентному диаметру канала.

**Местные сопротивления** определяются формулой:

$$\Delta p_m = \zeta \frac{\rho \bar{w}_x^2}{2} \quad (13)$$

Коэффициент местного сопротивления для каждой особенности течения в канале определяется по справочным данным:

- на входе в трубу  $\zeta = 0.5$
- на выходе из трубы  $\zeta = 1$
- поворот потока на 180 градусов  $\zeta = 1$

**Тепловое сопротивление** связано с ускорением потока за счёт расширения при нагреве газа и с торможением при охлаждении.

$$\Delta p_{тепл.} = \rho \bar{w}_{x \text{ вх}}^2 - \rho \bar{w}_{x \text{ вых}}^2 \quad (14)$$

**Общие гидравлические потери** в канале теплообменника складываются из всех видов сопротивлений:

$$\Delta p = \sum \Delta p_{тр.} + \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{тепл.} \quad (15)$$

Мощность насоса (вентилятора) необходимая для прокачки теплоносителя можно определить по формуле:

$$N[\text{кВт}] = \frac{\Delta p G}{1000 \rho \eta}, \quad (16)$$

$\eta$  - КПД насоса или вентилятора.