

# Промышленная теплоэнергетика

Теплообменники

# Характеристика теплообменных устройств

Утилизацию теплоты отходящих газов с возвратом их в печь можно осуществить в теплообменных устройствах регенеративного и рекуперативного типов.

Регенеративные теплообменники работают при нестационарном состоянии, рекуперативные — при стационарном.

# Классификация теплообменников.

*Теплообменники* - устройства, предназначенные для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому.

Теплообменники классифицируют:

1. По принципу действия:

- поверхностные;
- смешительные.

# Классификация теплообменников

В поверхностных теплообменниках в передаче теплоты участвует поверхность твердого тела.

В смесительных теплообменниках теплоносители непосредственно контактируют друг с другом.

Поверхностные теплообменники подразделяют на *рекуперативные* и *регенеративные*.

В рекуперативных теплообменниках теплота от одного носителя к другому передается через разделяющую их стенку.

В регенеративных теплообменниках вначале с горячим теплоносителем контактирует твердое тело, которое принимает от него теплоту, при этом нагреваясь, затем это тело вступает в контакт с холодным теплоносителем и отдает ему полученную теплоту.

# Классификация теплообменников

Пример смешительного теплообменника - *градирня*.

1 - технологический агрегат подведения воды;

2 - конденсатор;

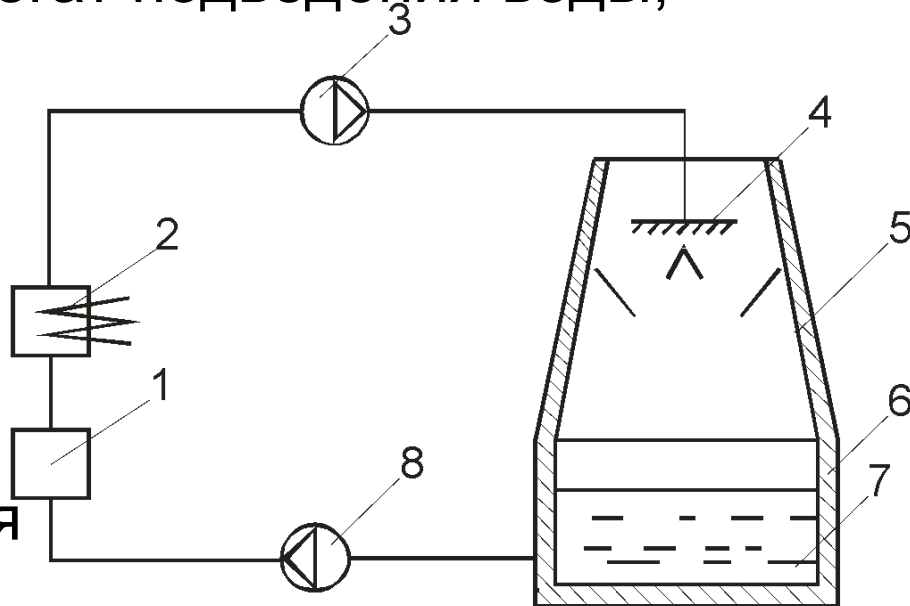
3, 8 - насосы;

4 - брызгальный коллектор;

5 - шахта;

6 - окна для поступления холодного воздуха;

7 - брызгальный бассейн.



# Классификация теплообменников

## 2. По технологическому назначению:

- водонагреватели;
- пароперегреватели;
- парогенераторы;
- деаэраторы (служат для удаления воздуха из теплоносителя).

# Классификация теплообменников

## 3. По роду теплоносителей:

- водоводяные;
- пароводяные;
- масловоздушные.

# Классификация теплообменников

## 4. По материалам стенки:

- стальные;
- чугунные;
- медные;
- керамические;
- графитовые и т.д.



# Классификация теплообменников

## 5. По режиму работы:

- непрерывного действия;
- периодического действия.

## 6. По возможности секционной сборки:

- цельные;
- секционные.

# Классификация теплообменников

## 7. По форме рабочих поверхностей:

- гладкотрубные;
- пластичные;
- оребренные;
- ошипованные.

## 8. По числу ходов движения теплоносителя:

- одноходовые;
- многоходовые.

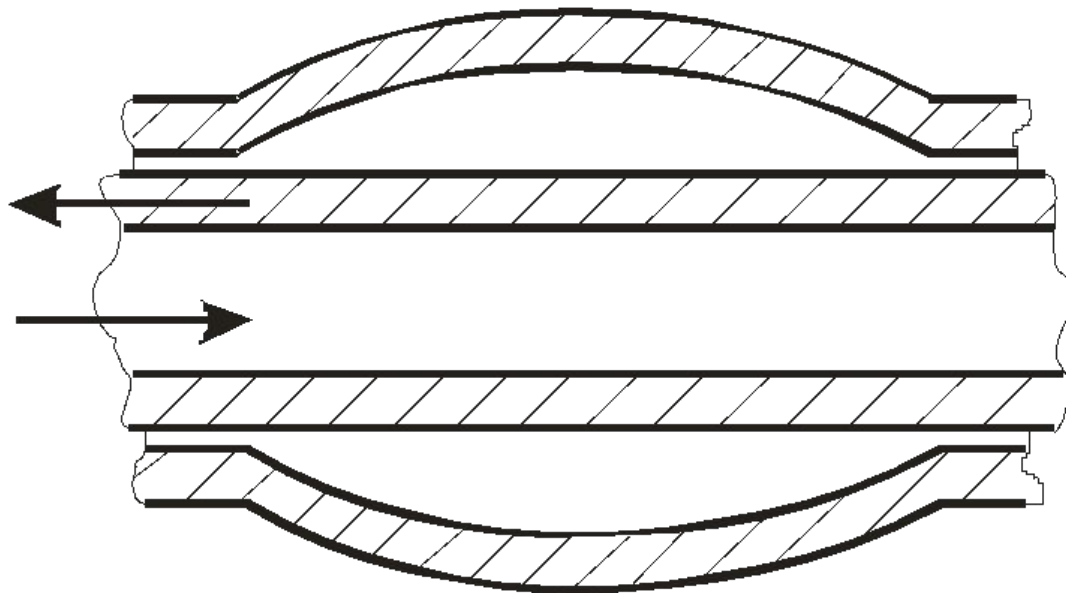
# Классификация теплообменников

## 9. По схеме движения теплоносителей:

- прямоточные;
- противоточные;
- с перекрестным током;
- многократно с перекрестным током;
- смешанные.

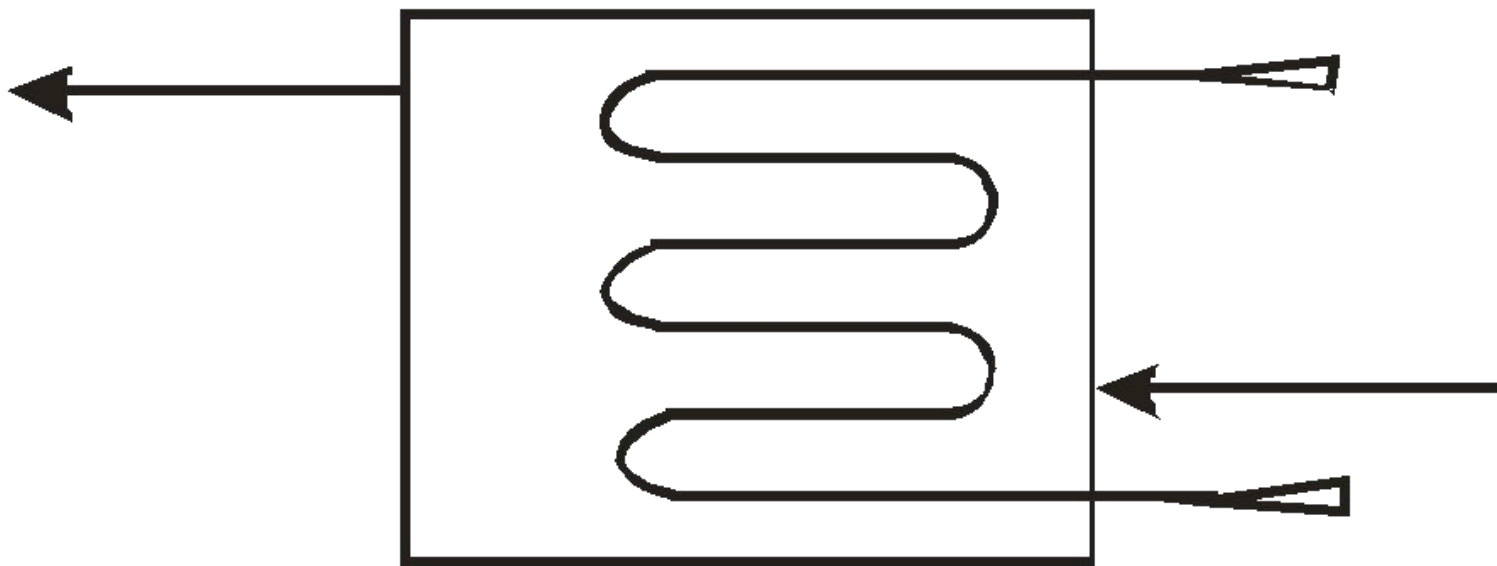
# Классификация теплообменников

10. По конструктивному оформлению:  
теплообменник типа «труба к трубе»;



# Классификация теплообменников

кожухотрубный;



# Расчет рекуперативных теплообменников

Расчет включает в себя: расчет на прочность, гидравлический или аэродинамический расчет, экономический расчет, тепловой расчет.

## Основные расчетные зависимости при тепловом расчете

Тепловой расчет бывает двух видов:

- Конструкторский (проектный) - определяют площадь теплообмена;
- технологический (поверочный) - определяют температуру теплоносителей и режим их движения.

# Расчет рекуперативных теплообменников

При любом тепловом расчете применяют два уравнения:

- *уравнение теплопередачи;*
- *Уравнение теплового баланса.*

# Расчет рекуперативных теплообменников

Уравнение теплопередачи:

$$Q_T = k \Delta T F, \quad (1)$$

Q - тепловой поток, передаваемый от горячего теплоносителя к холодному;

k - коэффициент теплопередачи;

$\Delta T$  - перепад температур между горячим и холодным теплоносителями;

F - площадь теплообмена.



# Расчет рекуперативных теплообменников

**Уравнение теплового баланса:**

$$Q_1 = Q_2 + \Delta Q, \text{ Вт} \quad (2)$$

$Q_1$  - тепловой поток, отдаваемый горячим теплоносителем;

$Q_2$  - тепловой поток, воспринимаемый холодным теплоносителем;

$\Delta Q$  - потери теплоты в окружающую среду

$$Q_1 = c_1 \cdot \rho_1 \cdot G_1 \cdot (T_1' - T_1''), \text{ Вт} \quad (3)$$

$$Q_2 = c_2 \cdot \rho_2 \cdot G_2 \cdot (T_2'' - T_2'), \text{ Вт} \quad (4)$$

# Расчет рекуперативных теплообменников

Здесь:

$c$ , Дж/(кгК) - удельная массовая теплоемкость;

$\rho$ , кг/м<sup>3</sup> - плотность;

$G$ , м<sup>3</sup>/с - расход теплоносителя;

1 - горячий теплоноситель;

2 - холодный теплоноситель;

' - вход в теплообменник;

" - выход из теплообменника.

# Расчет рекуперативных теплообменников

Обозначим:

***водяные эквиваленты***  
теплоносителей:

$$W_1 = c_1 \rho_1 G_1 \quad (5)$$

$$W_2 = c_2 \rho_2 G_2$$

***степень нагрева*** теплоносителя:

$$\delta T_1 = T_1' - T_1'' \quad (6)$$

$$\delta T_2 = T_2'' - T_2'$$

# Расчет рекуперативных теплообменников

Пусть  $\Delta Q=0$ , тогда уравнение (2) с учетом уравнений (3)-(6) примет вид;

$$W_1 \delta T_1 = W_2 \delta T_2$$

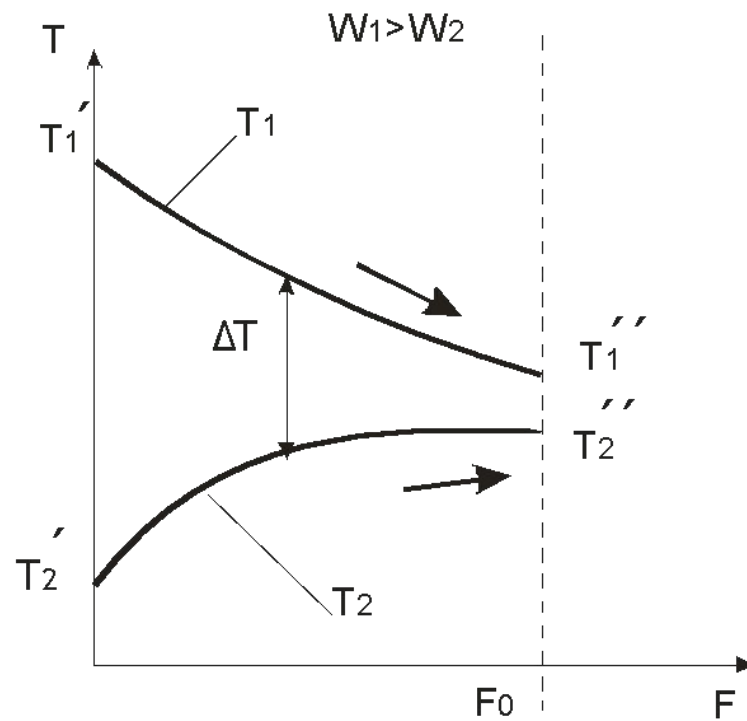
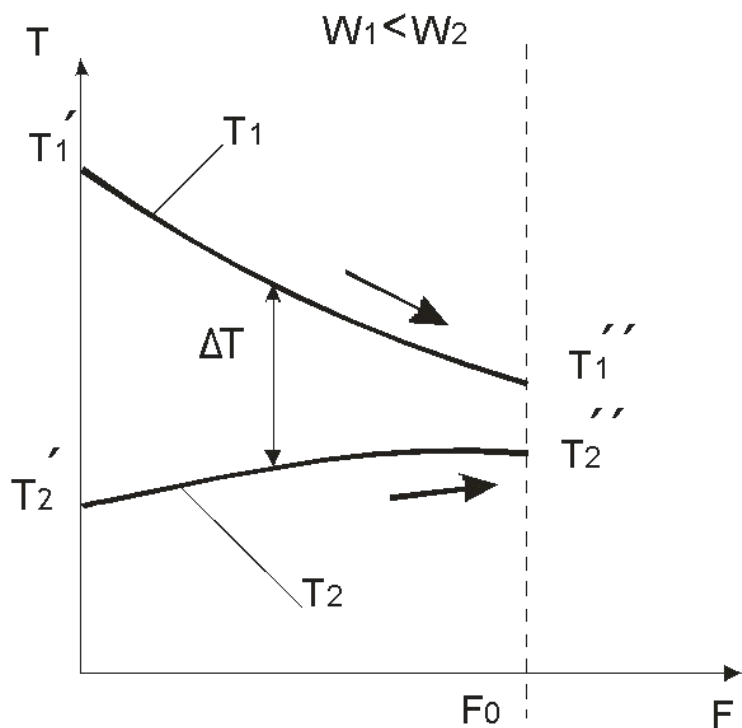
$$\frac{\delta T_1}{\delta T_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

т.е. степень нагрева теплоносителей  
обратно пропорциональна их  
водяным эквивалентам.

# Расчет рекуперативных теплообменников

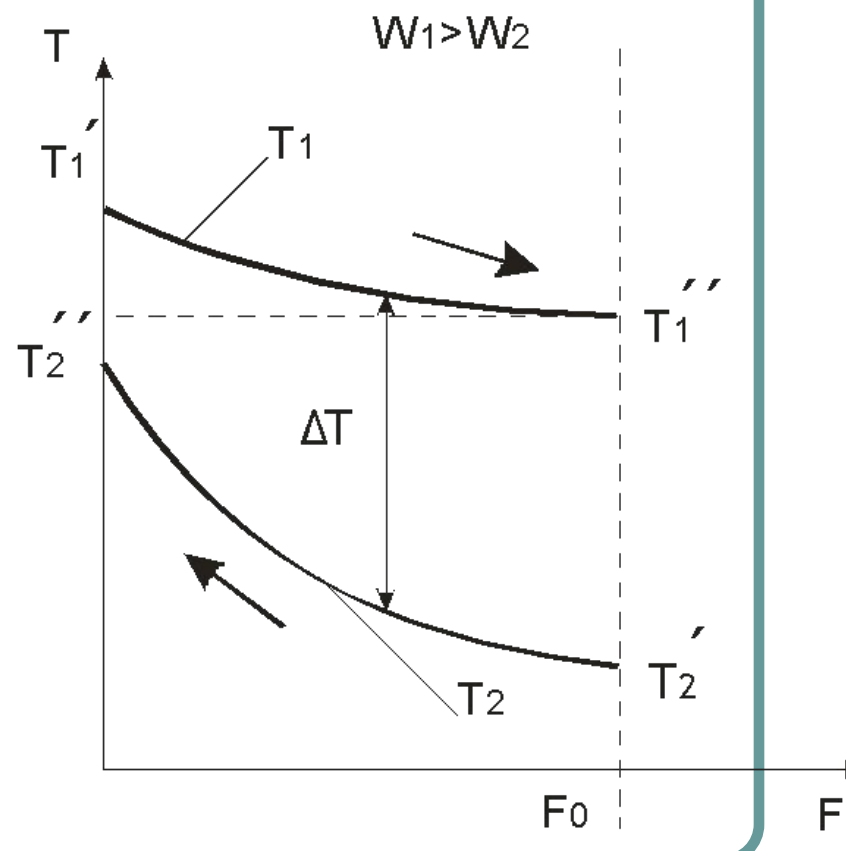
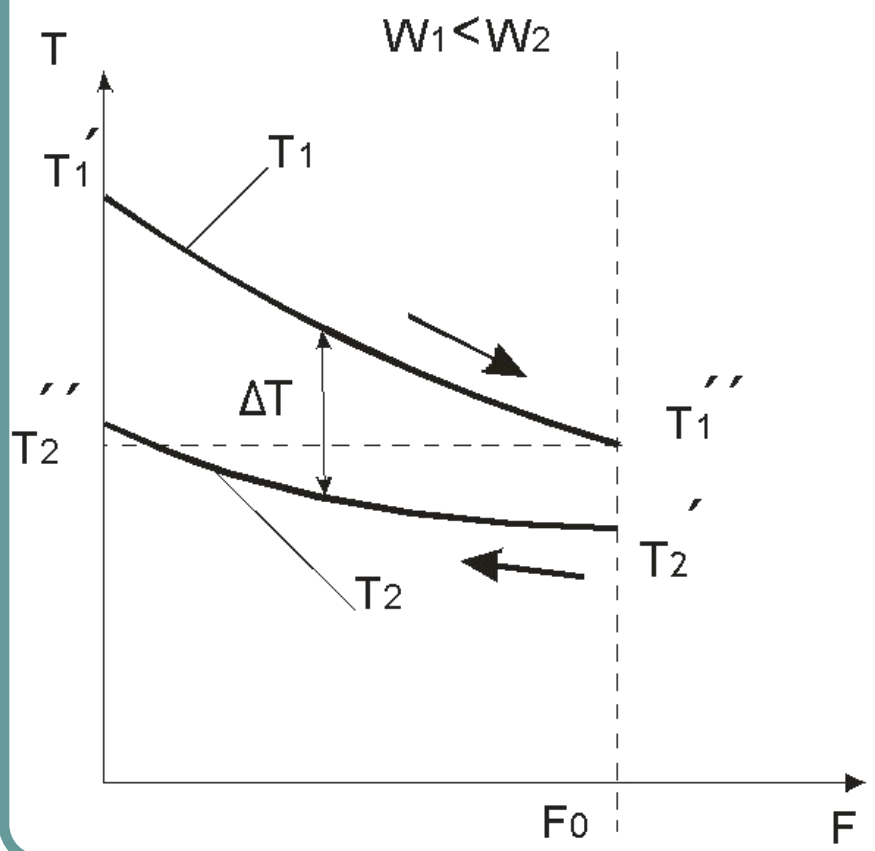
Анализ изменения температуры теплоносителей при рекуперативном теплообменнике.

Для прямоточных теплообменников:



# Расчет рекуперативных теплообменников

Для противоточных теплообменников:



# Расчет рекуперативных теплообменников

Из рассмотренных графиков следует:

В прямоточных теплообменниках на выходе температура горячего теплоносителя больше температуры холодного  $T_1'' > T_2''$ . В противоточных теплообменниках это условие может не выполняться.

Противоточные теплообменники являются более компактными и эффективными по сравнению с прямоточными.

# Расчет рекуперативных теплообменников

## Расчет среднего температурного напора

$$dQ_1 = W_1 dT_1 \quad (1)$$

$$dQ_2 = W_2 dT_2 \quad (2)$$

$\Rightarrow$

$$dT_1 = \frac{1}{W_1} dQ_1 \quad (3)$$

$$dT_2 = \frac{1}{W_2} dQ_2$$



# Расчет рекуперативных теплообменников

Обозначим:  $dQ = dQ_2 = - dQ_1$

Из уравнения (3) получим:

$$d(T_1 - T_2) = - \left( \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} \right) dQ \quad (4)$$

# Расчет рекуперативных теплообменников

Обозначим:

$$m = \left( \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} \right),$$

$$\Delta T = T_1 - T_2,$$

Пусть:

$$dQ = \kappa (T_1 - T_2) dF$$

# Расчет рекуперативных теплообменников

Тогда уравнение (4) примет вид:

$$d(\Delta T) = -m\kappa\Delta T dF \quad (5)$$

Проинтегрируем:

$$\int_{\Delta T'}^{\Delta T''} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -m\kappa \int_0^{F_0} dF \quad (6)$$

$$\int_{\Delta T'}^{\Delta T} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -m\kappa \int_0^F dF \quad (7)$$

# Расчет рекуперативных теплообменников

Из уравнений (6) и (7) получим:

$$\ln \frac{\Delta T''}{\Delta T'} = -m\kappa F_0 \quad (8)$$

$$\ln \frac{\Delta T}{\Delta T'} = -m\kappa F \quad (9)$$

$$\Delta T'' = \Delta T' e^{-m\kappa F_0} \quad (10)$$

$$\Delta T = \Delta T' e^{-m\kappa F} \quad (11)$$

# Расчет рекуперативных теплообменников

Из уравнения (8) -(11) получим:

$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T'}{F_0} \int_0^{F_0} e^{-m F_0} dF$$

$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T'}{F_0 (-mk)} \left( e^{-mk F_0} - 1 \right) = \frac{\Delta T'' - \Delta T'}{\ln \frac{\Delta T''}{\Delta T'}} \quad (12)$$

# Расчет рекуперативных теплообменников

Уравнение (12) справедливо только для прямотока. Можно доказать, что для прямотока и противотока справедлива обобщенная формула:

$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_{\delta} - \Delta T_{\mathcal{M}}}{\ln \frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_{\mathcal{M}}}}$$

где  $\Delta T_{\delta}, \Delta T_{\mathcal{M}}$  - наибольший и наименьший температурный напор

# Расчет рекуперативных теплообменников

## Расчет среднего коэффициента теплопередачи.

В том случае, когда нельзя пренебрегать изменением коэффициента теплопередачи вдоль площади теплообмена  $F$  теплообменник условно разбивают на измерительные секции. В пределах каждой секции коэффициент теплопередачи считают условно постоянной величиной. Тогда средний по теплообменнику коэффициент теплопередачи определяют по формуле:

# Расчет рекуперативных теплообменников

$$\bar{\kappa} = \frac{\kappa_1 F_1 + \kappa_2 F_2 + \dots + \kappa_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}$$

$$\bar{\kappa} = \frac{1}{F_0} \sum_{i=1}^n \kappa_i F_i$$

$i$  - номер измерительной секции;  $F_0$  - суммарная площадь теплообменника.