

ЛЕКЦИЯ 14

ВЗАИМНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

РАСЧЕТ ДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ

Взаимное направление движения теплоносителей

В зависимости от конструкции теплообменных аппаратов, можно выделить четыре случая взаимного движения теплоносителей в них.

1. Прямоток.

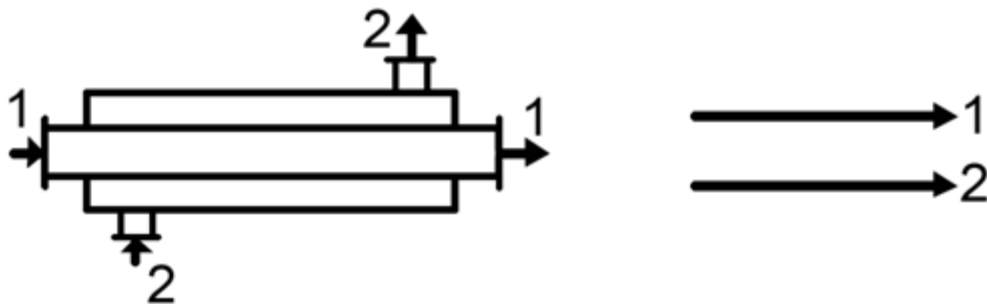


Рис.14.1 Прямоток

Теплоносители движутся вдоль поверхности теплообмена строго в одном направлении по параллельным траекториям, такой режим можно реализовать в теплообменнике типа "труба в трубе";

2. Противоток.

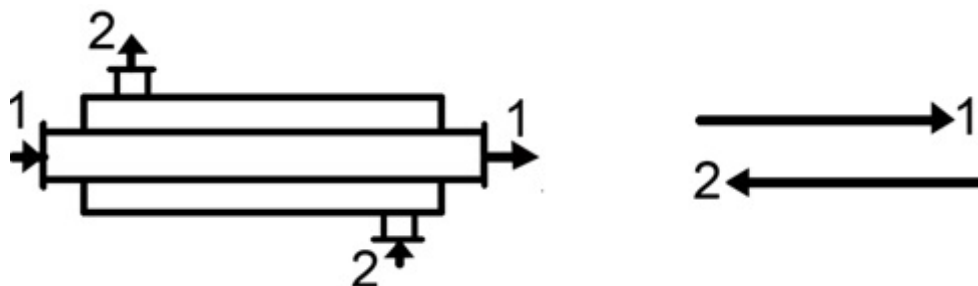


Рис.14.2. Противоток

Теплоносители движутся вдоль поверхности теплообмена по параллельным траекториям, но во встречных направлениях. Такой режим также можно реализовать в теплообменнике типа "труба в трубе".

3. Перекрестный ток.

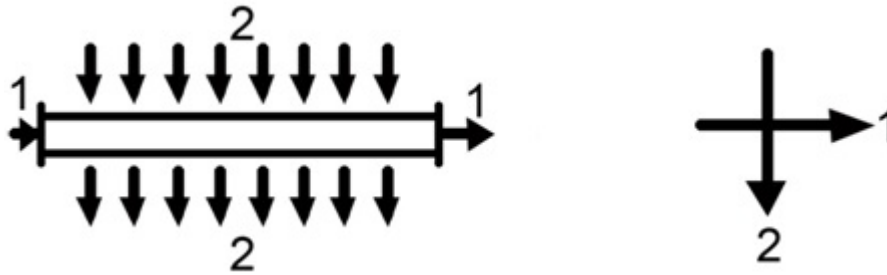


Рис.14.3. Перекрестный ток

Такой режим возможен в оросительном теплообменнике, когда один теплоноситель движется по горизонтальной трубе, а второй омывает эту трубу сверху, вертикально, под прямым углом;

4. Смешанный ток.

Все остальные случаи движения теплоносителей относят к смешанному току (движение в многоходовых кожухотрубчатых теплообменниках, пластинчатых и пр.).

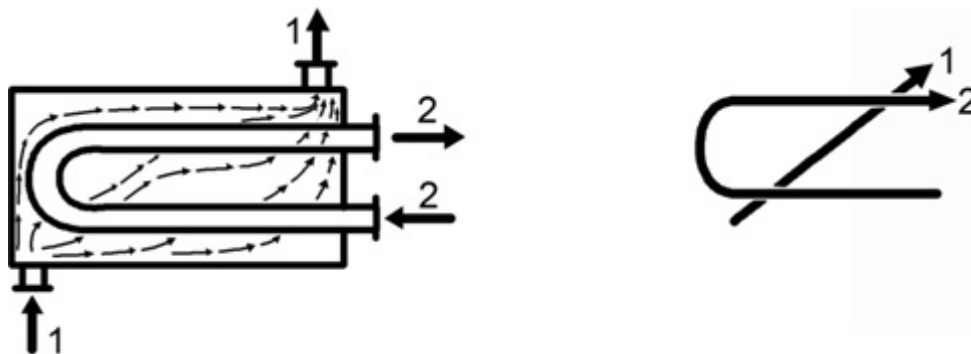


Рис.14.4. Смешанный ток

В большинстве теплообменников температура теплоносителя вдоль поверхности теплообмена изменяется, это приводит к тому, что в разных сечениях теплообменного аппарата разность температур (движущая сила) будет различной.

Для того, чтобы можно было использовать уравнение теплопередачи вида $\dot{Q} = K_T A \Delta T$, для случаев переменной движущей силы в теплообменнике вместо ΔT необходимо использовать усредненное значение ΔT_{cp} - среднюю разность температур в аппарате, которая будет зависеть от взаимного направления движения теплоносителей.

Определение средней разности температур в теплообменнике при прямотоке

Выведем формулу для расчета средней разности температур на примере прямотока. Рассмотрим теплообмен через плоскую стенку, где с одной стороны стенки горячий теплоноситель с расходом m_1 (кг/с) и теплоемкостью c_{p1} (Дж/(кг·К)), а с другой стороны стенки- холодный теплоноситель с расходом m_2 (кг/с) и теплоемкостью c_{p2} (Дж/(кг·К)).

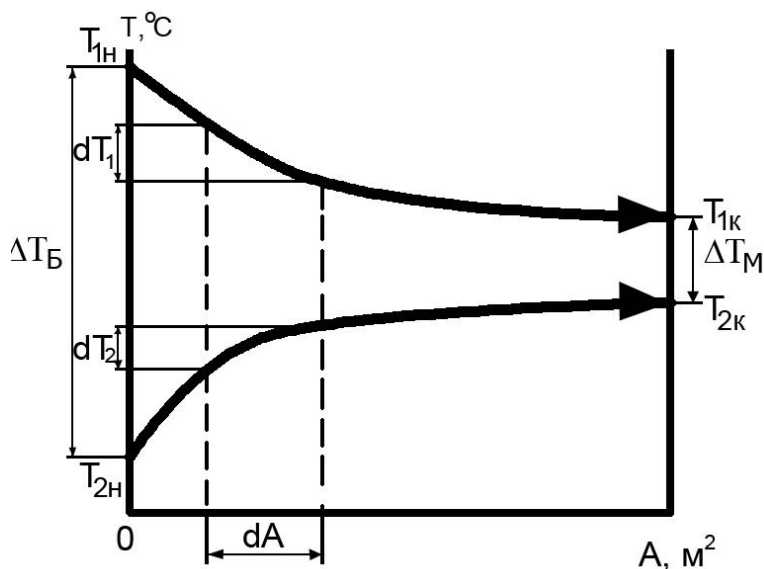


Рис.14.5. Профиль температур при прямотоке

Примем допущения.

1. Процесс теплообмена стационарный;
2. Теплоемкости теплоносителей c_{p1} и c_{p2} постоянны;
3. Коэффициент теплопередачи не изменяется вдоль всей поверхности теплообмена;
4. Теплоносители движутся в поршневом режиме, т.е. их движение описывается моделью идеального вытеснения;
5. Потери теплоты отсутствуют.

На Рис.14.5. изображен профиль температур горячего 1 и холодного 2 теплоносителей вдоль поверхности теплообмена; $T_{1н}$, $T_{1к}$ ($^{\circ}\text{C}$)- температура горячего теплоносителя на входе и на выходе из теплообменника; $T_{2н}$, $T_{2к}$ - температура холодного теплоносителя на входе и на выходе из теплообменника; dA - элементарная поверхность

теплообмена (m^2); dT_1 , dT_2 - изменение температур горячего и холодного теплоносителя на элементарной поверхности dA .

Запишем уравнение теплового баланса для элементарной поверхности dA :

$$\dot{dQ} = \dot{m}_1 c_{P1} (-dT_1) = \dot{m}_2 c_{P2} dT_2 \quad (14.1)$$

Получим:

$$dT_1 = \frac{\dot{dQ}}{\dot{m}_1 c_{P1}} \quad (14.2)$$

$$dT_2 = \frac{\dot{dQ}}{\dot{m}_2 c_{P2}} \quad (14.3)$$

$$dT_1 - dT_2 = -\dot{dQ} \left(\frac{1}{\dot{m}_1 c_{P1}} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_{P2}} \right) \quad (14.4)$$

$$\dot{dQ} = - \frac{d(T_1 - T_2)}{\frac{1}{\dot{m}_1 c_{P1}} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_{P2}}} \quad (14.5)$$

Выразим \dot{dQ} из основного уравнения теплопередачи, считая, что перенос теплоты на элементарном участке dA происходит при постоянных температурах теплоносителей.

$$\dot{dQ} = K_T (T_1 - T_2) dA \quad (14.6)$$

Приравнявая \dot{dQ} из ур. (14.5) и (14.6), получим:

$$\dot{dQ} = - \frac{d(T_1 - T_2)}{\frac{1}{\dot{m}_1 c_{P1}} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_{P2}}} = K_T (T_1 - T_2) dA \quad (14.7)$$

$$- \frac{d(T_1 - T_2)}{T_1 - T_2} = K_T \left(\frac{1}{\dot{m}_1 c_{P1}} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_{P2}} \right) dA \quad (14.8)$$

$$\int_{T_{1H}-T_{2H}}^{T_{1K}-T_{2K}} - \frac{d(T_1 - T_2)}{T_1 - T_2} = \int_0^A K_T \left(\frac{1}{\dot{m}_1 c_{P1}} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_{P2}} \right) dA \quad (14.9)$$

$$\ln \frac{T_{1H} - T_{2H}}{T_{1K} - T_{2K}} = K_T \left(\frac{1}{\dot{m}_1 c_{P1}} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_{P2}} \right) A \quad (14.10)$$

Запишем уравнение теплового баланса для всего теплообменника:

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 c_{P1} (T_{1н} - T_{1к}) = \dot{m}_2 c_{P2} (T_{2к} - T_{2н}), \quad (14.11)$$

отсюда получим:

$$\frac{1}{\dot{m}_1 c_{P1}} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_{P2}} = \frac{T_{1н} - T_{1к}}{\dot{Q}} + \frac{T_{2к} - T_{2н}}{\dot{Q}} = \frac{(T_{1н} - T_{2н}) - (T_{1к} - T_{2к})}{\dot{Q}} = \frac{(\Delta T_{\delta} - \Delta T_{\mathcal{M}})}{\dot{Q}} \quad (14.12)$$

ΔT_{δ} и $\Delta T_{\mathcal{M}}$ - большая и меньшая, если сравнивать численно, разность температур на концах теплообменника.

$$\ln \frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_{\mathcal{M}}} = K_T \frac{(\Delta T_{\delta} - \Delta T_{\mathcal{M}})}{\dot{Q}} A \quad (14.13)$$

или:

$$\dot{Q} = K_T A \frac{\Delta T_{\delta} - \Delta T_{\mathcal{M}}}{\ln \frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_{\mathcal{M}}}} = K_T A \Delta T_{Cp} \quad (14.14)$$

$$\text{тогда: } \Delta T_{Cp} = \frac{\Delta T_{\delta} - \Delta T_{\mathcal{M}}}{\ln \frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_{\mathcal{M}}}} \quad (14.15)$$

ΔT_{Cp} - средняя разность температур в теплообменнике.

$$\Delta T_{\mathcal{M}} < \Delta T_{Cp} < \Delta T_{\delta}$$

Если рассмотреть движение теплоносителей в режиме противотока, то выражение для расчета средней движущей силы (средней разности температур) получилось бы точно такое же, только при противотоке требуется определить и сравнить разницу температур на концах аппарата для выявления ΔT_{δ} и $\Delta T_{\mathcal{M}}$. При прямотоке большая разность температур всегда будет на входе.

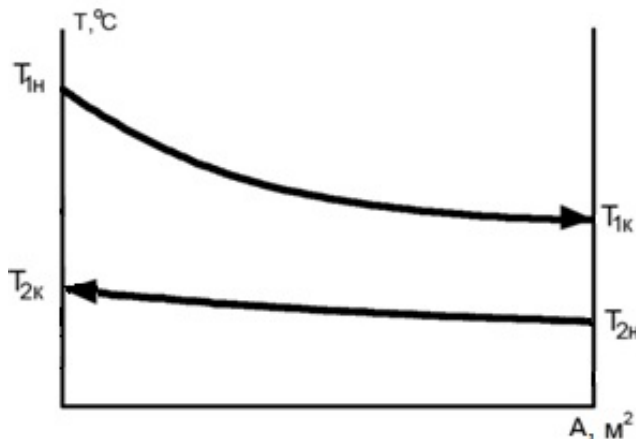


Рис.14.6. Профиль температур при противотоке

Если $\Delta T_{\delta} / \Delta T_{\mathcal{M}} \leq 2$ то, с достаточной для инженерных расчетов точностью ΔT_{Cp} можно определять как среднее арифметическое между ΔT_{δ} и $\Delta T_{\mathcal{M}}$.

$$\Delta T_{Cp} = (\Delta T_{\delta} + \Delta T_{\mathcal{M}}) / 2 . \quad (14.16)$$

Для остальных случаев движения теплоносителей в теплообменниках, т.е. для перекрестного и смешанного токов, среднюю разницу температур определяют, используя движущую силу при противотоке $\Delta T_{Cp \text{ прот}}$:

$$\Delta T_{Cp \text{ смеш}} = \Delta T_{Cp \text{ прот}} \cdot \varphi , \quad (14.17)$$

где φ -коэффициент, который зависит от степени изменения температур и конструкции теплообменника, $\varphi < 1$. Коэффициент φ является справочной величиной.

Следует отметить, что средняя движущая сила при перекрестном или смешанном токе всегда будет ниже движущей силы при противотоке, но выше чем при прямотоке:

$$\Delta T_{Cp \text{ прямоток}} < \Delta T_{Cp \text{ смеш}} < \Delta T_{Cp \text{ противоток}}$$

Движущая сила при различных видах теплопередачи. Влияние направления движения теплоносителей

1. Первый теплоноситель - насыщенный пар - конденсируется, второй кипит

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

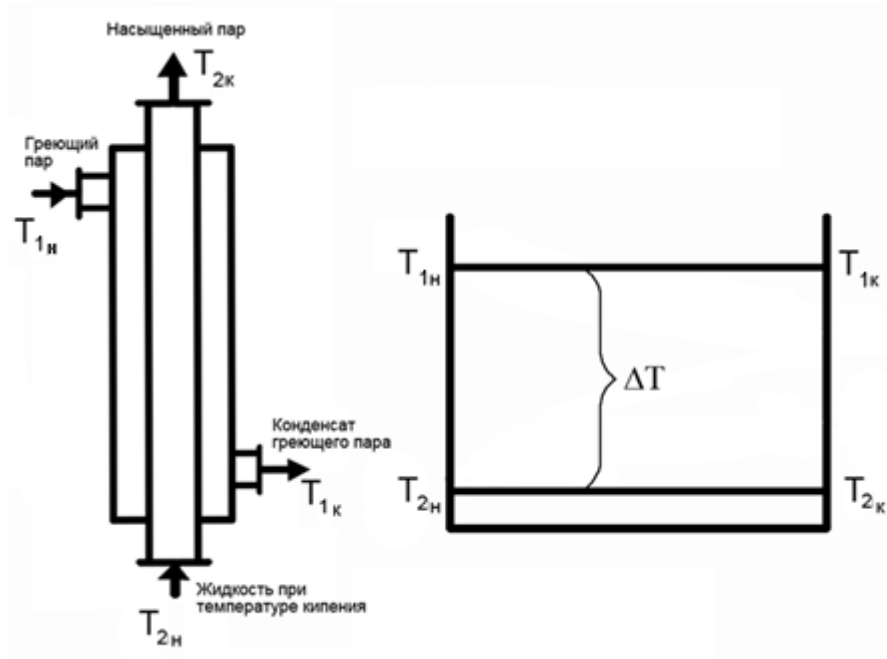


Рис.14.7. Процесс кипение – конденсация: движение теплоносителей в двухтрубном теплообменнике и соответствующий профиль температур

2. Первый теплоноситель - насыщенный пар - конденсируется, второй - нагревается

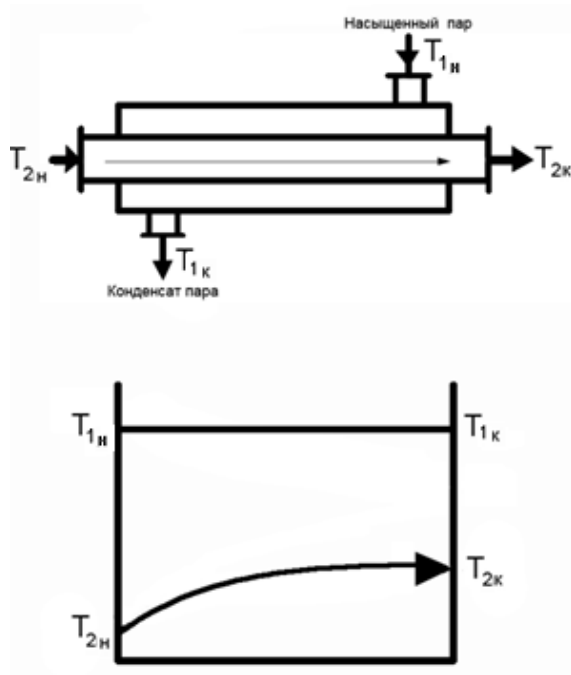


Рис.14.8. Процесс конденсация пара – нагревание жидкости или газа: движение теплоносителей в двухтрубном теплообменнике и соответствующий профиль температур

3. Первый теплоноситель охлаждается, второй – нагревается

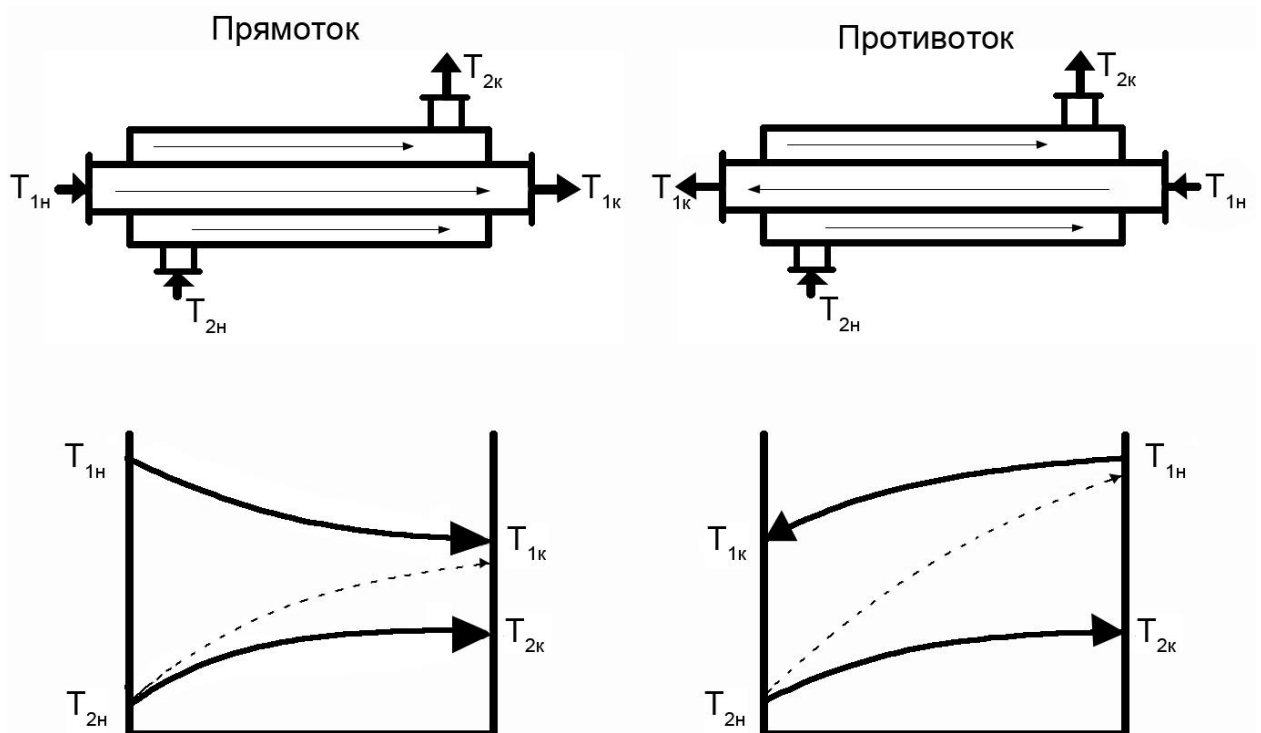


Рис.14.8. Процесс охлаждение – нагревание жидкостей или газов: движение теплоносителей в двухтрубном теплообменнике и соответствующий профиль температур

Если температуры теплоносителей изменяются вдоль аппарата, то противоток обладает преимуществом по сравнению с прямотоком:

- При противотоке достигается бóльшая средняя разность температур при одних и тех же соответствующих начальных и конечных температурах теплоносителей;
- При противотоке холодный теплоноситель можно нагреть до более высоких температур, снизить его расход и затраты на его перемещение.