

Тема: ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

1. Классификация теплообменных аппаратов
2. Порядок расчета рекуперативного теплообменника

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Теплообменным аппаратом (теплообменником) называют устройство, в котором осуществляется теплообмен между двумя или несколькими теплоносителями или между теплоносителями и твердыми телами (стенкой, насадкой). В частном случае роль теплоносителей и твердых тел, участвующих в теплообмене, может играть и среда, окружающая аппарат.

По принципу действия и назначению теплообменники классифицируются следующим образом:

СМЕСИТЕЛЬНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ.

В данных теплообменниках теплопередача происходит при непосредственном смешении теплоносителей (рис. 1). Эти аппараты просты, компактны и используются в том случае, если не требуется дальнейшее разделение теплоносителей (например, нагрев воды водяным паром или горячей водой). Так, при обогреве теплиц, а также в системе водяного отопления зданий горячую воду из котельной или от ТЭЦ смешивают с охлажденной обратной водой, поступающей от потребителя.

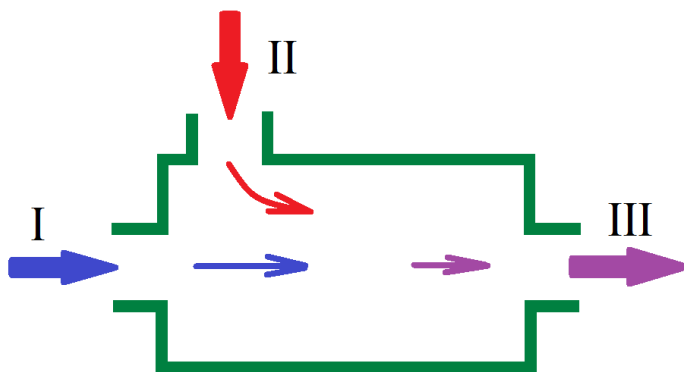


Рис. 1 Смесительный теплообменник.

I и II – потоки горячего и холодного теплоносителей, III – смешанный поток

РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

В данных теплообменниках горячий и холодный теплоносители поочередно омывают одну и ту же теплообменную поверхность. В период контакта с горячим теплоносителем происходит разогрев насадки, которая затем в период контакта с холодным теплоносителем отдает ему аккумулированную теплоту (рис. 2).

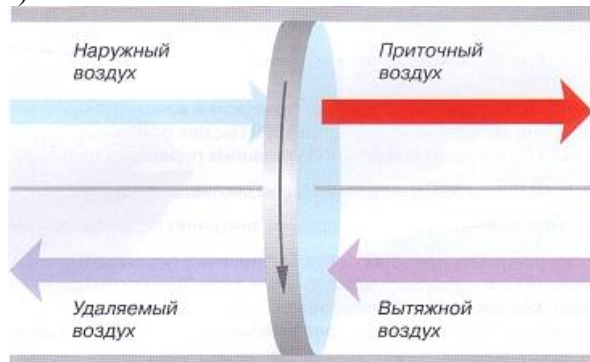


Рис. 2 Регенеративный теплообменник в системе вентиляции

ТЕПЛООБМЕННИКИ С ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛОТЫ

Нагрев холодного теплоносителя осуществляется за счет действия электронагревателя (рис. 3) или генератора токов высокой или сверхвысокой частоты. Например, в сельскохозяйственном

производстве применяются электронагреватели воды непрерывного действия различной мощности.

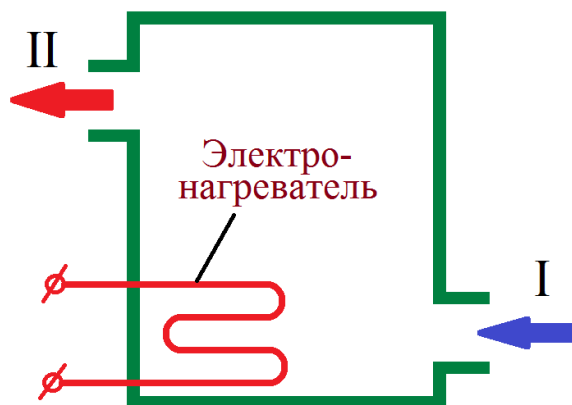


Рис. 3 Теплообменник с электронагревателем:
I и II – холодный и горячий потоки

РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

У них передача теплоты от горячего теплоносителя к холодному осуществляется через разделяющую их стенку.

Простейшим рекуперативным теплообменником является аппарат типа «труба в трубе» (рис. 4). Поверхностью теплообмена в нем является боковая поверхность внутренней трубы.

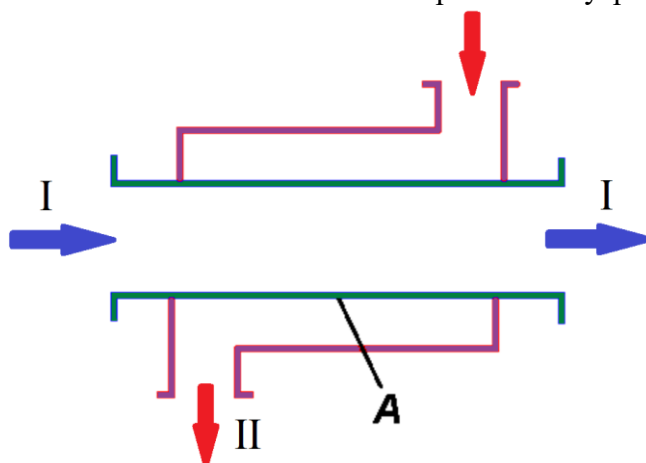


Рис. 4. Противоточный теплообменник типа «труба в трубе»:
I и II — холодный и горячий теплоносители; A — поверхность теплообмена

Достоинство аппарата — простота конструкции.

Недостаток - громоздкость при больших поверхностях теплообмена, поэтому аппарат применяют при небольших поверхностях теплообмена.

Наиболее распространенными являются кожухотрубные теплообменники (рис. 5). Они также относятся к группе рекуперативных типа «труба в трубе».

В наружную трубу (кожух) помещен пучок труб 2 малого диаметра, концы которых герметично (с помощью сварки или вальцовки) закреплены в трубных решетках 4. Трубные решетки приварены к корпусу аппарата (кожуху) 1, и к ним через уплотнительные прокладки с помощью болтового соединения присоединены крышки. Теплообменник имеет штуцера для входа и выхода теплоносителей, один из которых движется по межтрубному пространству, а другой — по трубам.

Достоинства аппарата: компактность, возможность развивать большие поверхности теплообмена в одном аппарате, удобство в эксплуатации, технологичность в изготовлении.

Недостаток: затруднена очистка межтрубного пространства.

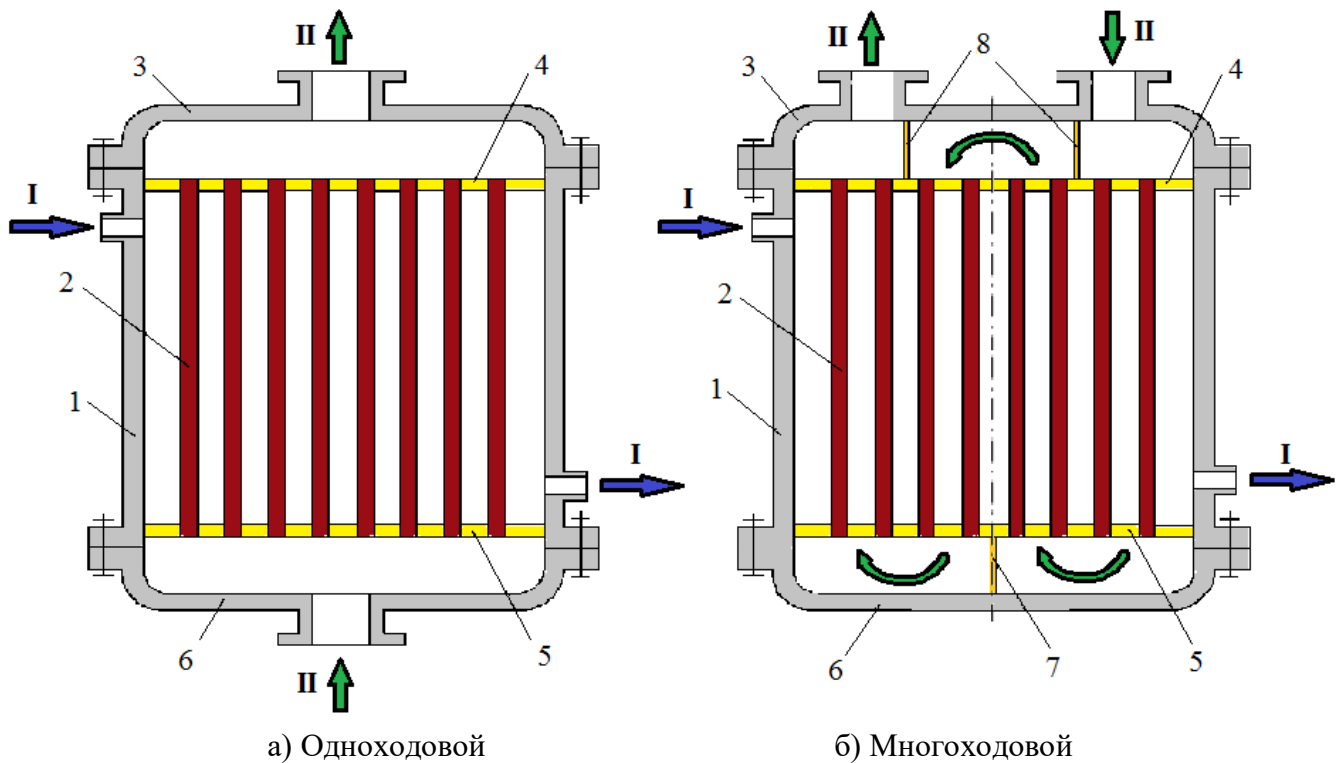


Рис. 5 Рекуперативные кожухотрубные теплообменные аппараты:

I и *II* – теплоносители; 1 - корпус (кожух), 2 – трубка, 3 – верхняя крышка, 4 и 5 – трубные решетки, 6 – нижняя крышка, 7 и 8 – перегородки

Широкое применение получили *пластинчатые рекуперативные теплообменники*, которые отличаются компактностью, низким гидравлическим сопротивлением и удобством очистки поверхностей теплообмена. Удельная поверхность теплообмена пластинчатых теплообменников достигает $1500 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Расположенные параллельно друг другу пластины образуют систему волнистых каналов шириной 3...6 мм, по которым с обеих сторон каждой пластины движутся теплоносители. Гофрировка пластин создает интенсивную турбулизацию потоков, что обеспечивает высокие коэффициенты теплопередачи до $3800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

На рис. 6 представлены способы движения теплоносителей в теплообменниках.

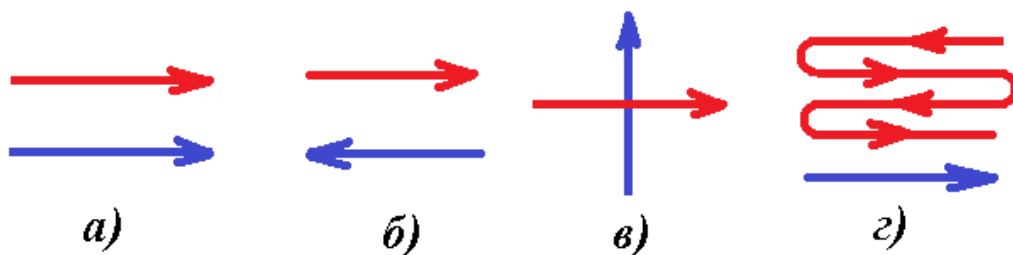


Рис. 6 Схемы движения теплоносителей:

а) прямоточная; б) противоточная; в) перекрестного тока; з) смешанного тока

2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

В тепловом расчете теплообменника используют уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$\Phi = m_{\Gamma} \cdot C_{\text{ПГ}}(t_{\Gamma 1} - t_{\Gamma 2}) = m_{\text{Х}} \cdot C_{\text{ПХ}}(t_{\text{Х} 2} - t_{\text{Х} 1}) \quad (1)$$

где Φ – тепловой поток, Вт

m_{Γ} и $m_{\text{Х}}$ — массовые расходы горячего и холодного теплоносителей, кг/с;

$C_{pГ}$ и $C_{pХ}$ – массовые изобарные теплоемкости горячего и холодного теплоносителей;
 $t_{Г1}$, $t_{Г2}$ - температуры горячего теплоносителя на входе и выходе аппарата, °С;
 $t_{Х1}$, $t_{Х2}$ - температуры холодного теплоносителя на входе и выходе аппарата, °С

При использовании в качестве теплоносителя конденсирующегося пара, тепловой поток подсчитывают по формуле:

$$\Phi = m \cdot (h_2 - h_1), \text{ Вт} \quad (2)$$

где h_1 и h_2 - энтальпии конденсата и сухого насыщенного пара, Дж/кг
 Уравнение теплопередачи имеет вид:

$$\Phi = A \cdot K \cdot \Delta t_{CP}, \text{ Вт} \quad (3)$$

Где K – средний коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К;
 Δt_{CP} - средняя разность температур по поверхности теплообмена A , °С;
 A – поверхность теплообмена теплообменника, м².

При прямотоке и противотоке средняя разность температур теплоносителей (средний температурный напор) вычисляется как среднелогарифмическая величина по формуле:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \text{ °С} \quad (4)$$

где Δt_B и Δt_M – соответственно большая и меньшая разность температур между теплоносителями на входе и выходе теплообменника.

При прямотоке: $\Delta t_B = t_{Г2} - t_{Х1}$ и $\Delta t_M = t_{Г2} - t_{Х1}$

При противотоке: $\Delta t_B = t_{Г1} - t_{Х2}$ и $\Delta t_M = t_{Г2} - t_{Х1}$

Зная тепловой поток Φ , по уравнению теплопередачи можно подсчитать поверхность теплообмена A :

$$A = \frac{\Phi}{K \cdot \Delta t_{CP}}, \text{ м}^2 \quad (5)$$

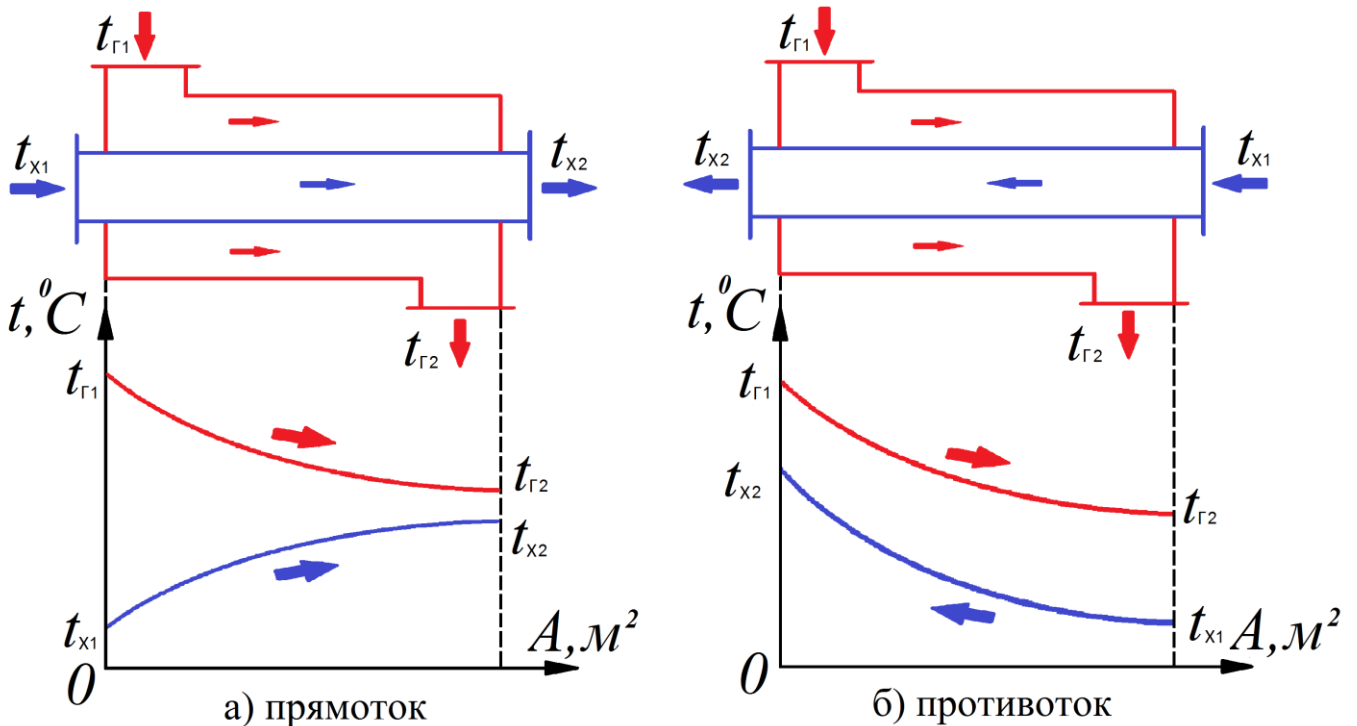


Рис. 7. Распределение температур вдоль поверхности теплообменного аппарата

Количественный анализ прямоточной и противоточной схем показывает, что при одинаковых начальных условиях противоточная схема позволяет нагреть холодный теплоноситель до более высокой температуры, чем прямоточная. При прямотоке, как видно из рис. 5, конечная

температура холодного теплоносителя не может быть выше конечной температуры горячего теплоносителя. Однако, прямоточная схема, обеспечивает более мягкий режим нагрева, что существенно для термочувствительных продуктов. На практике чаще используется противоточная схема движения теплоносителей.

Если при противотоке окажется, что $\Delta t_B = \Delta t_M$, тогда средняя разность температур Δt_{CP} будет определяться так:

$$\Delta t_{CP} = \Delta t_B = \Delta t_M \quad (6)$$

При перекрестном и смешанном токе средняя разность температур вычисляется так же, как для противотока $\Delta t_{CP.ПРОТ}$ с учетом поправки $e_{\Delta t}$ на конкретную схему движения теплоносителей:

$$\Delta t_{CP} = \Delta t_{CP.ПРОТ} \cdot e_{\Delta t} \quad (7)$$

$e_{\Delta t}$ – поправочный коэффициент, определяемый по особым графикам.

МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА

Эффективными методами интенсификации теплообмена являются:

- искусственная турбулизация потока в пристенной зоне (например, за счет накатки канавок на трубах, штамповки на ребрах поперечных выступов и канавок);
- закрутка потока внутри витых овальных труб и поперечное обтекание пучков витых труб и стержней;
- управляемый отрыв пограничного слоя при поперечном обтекании пучков труб за счет создания на них специальных турбулизаторов.

Эффективным решением данной задачи является оребрение поверхности стенки, обращенной к газовому потоку. Это позволяет снизить соответствующее термическое сопротивление теплоотдачи.