

10 ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

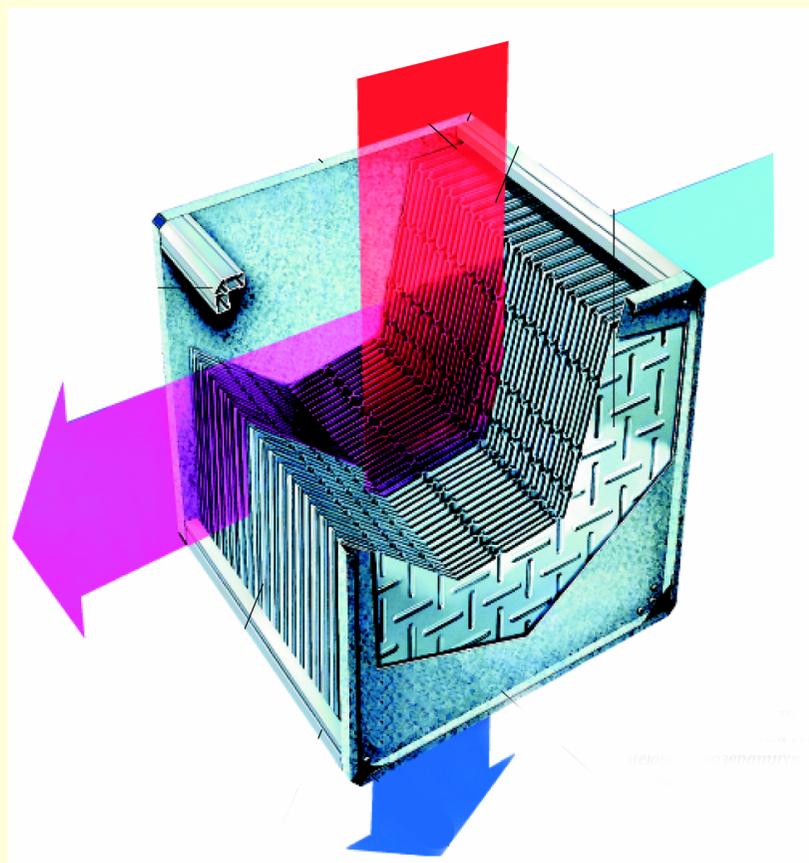
10.1 Классификация теплообменных аппаратов

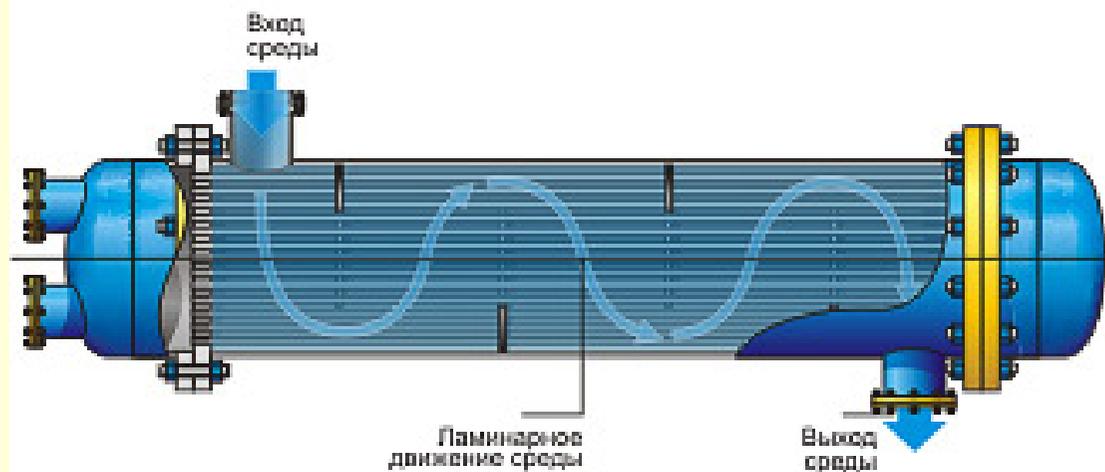
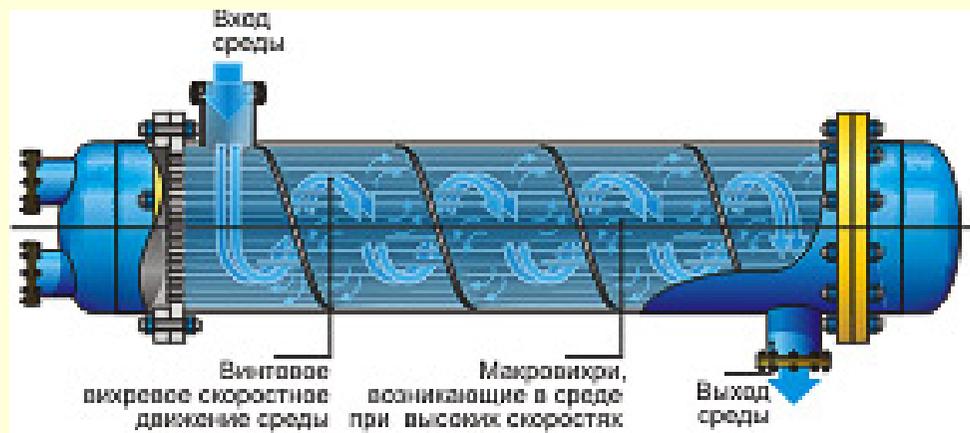
Теплообменный аппарат - устройство, в котором осуществляется процесс передачи теплоты от одного теплоносителя к другому.

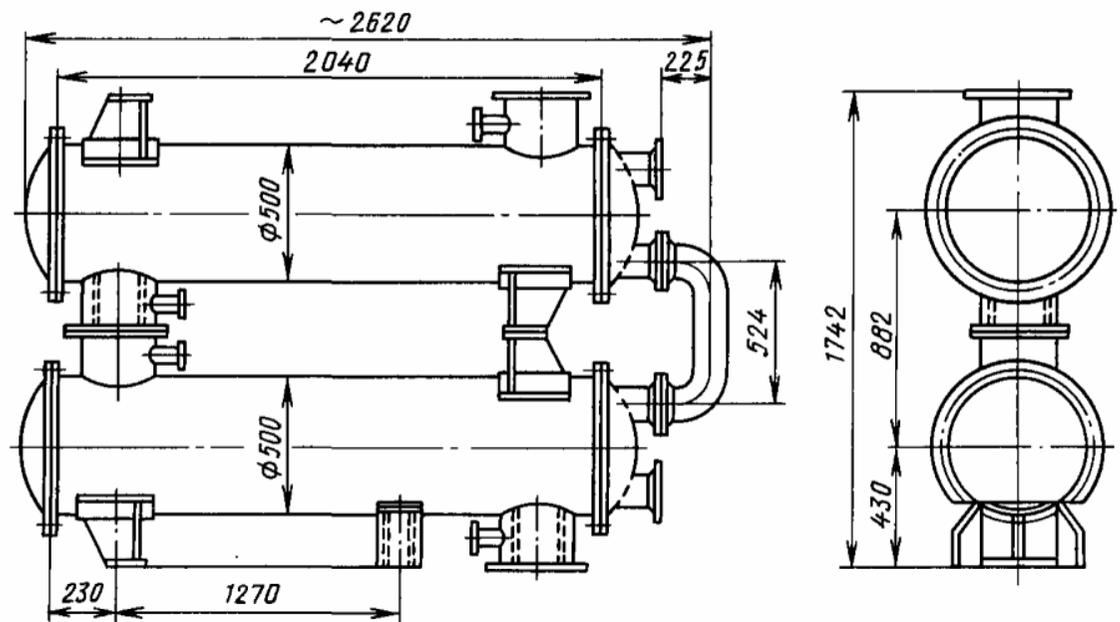
По принципу действия:



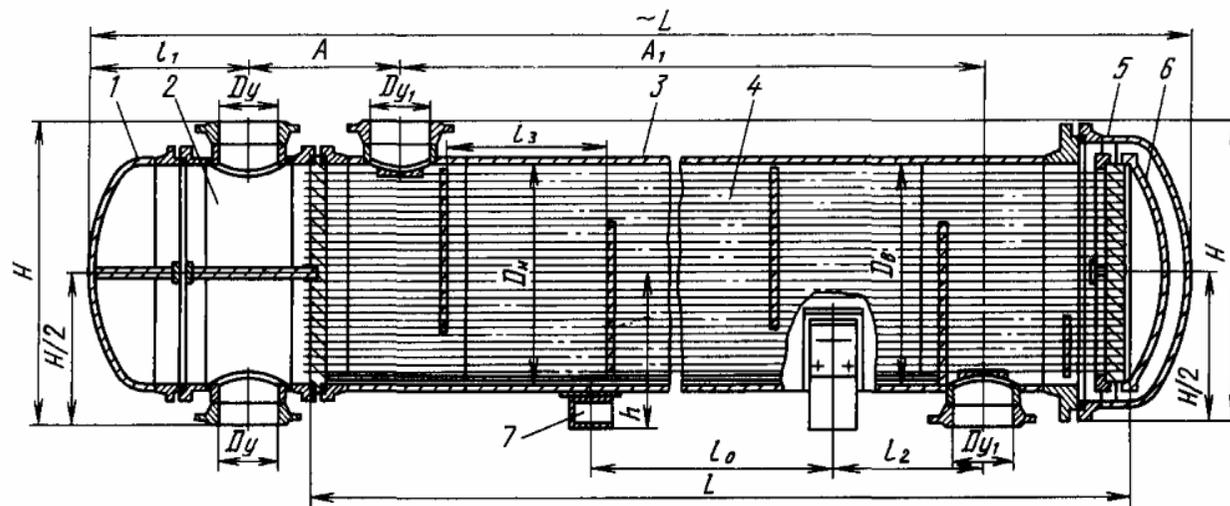
Рекуперативные - аппараты, в которых теплота от горячего теплоносителя к холодному передается через разделяющую их стенку (парогенераторы, подогреватели, конденсаторы и т. п.)







Блок из двух кожухотрубчатых теплообменников



Кожухотрубчатый теплообменник с плавающей головкой:

1 — крышка распределительной камеры; 2 — распределительная камера; 3 — кожух; 4 — трубы; 5 — крышка кожуха; 6 — крышка плавающей головки; 7 — опора

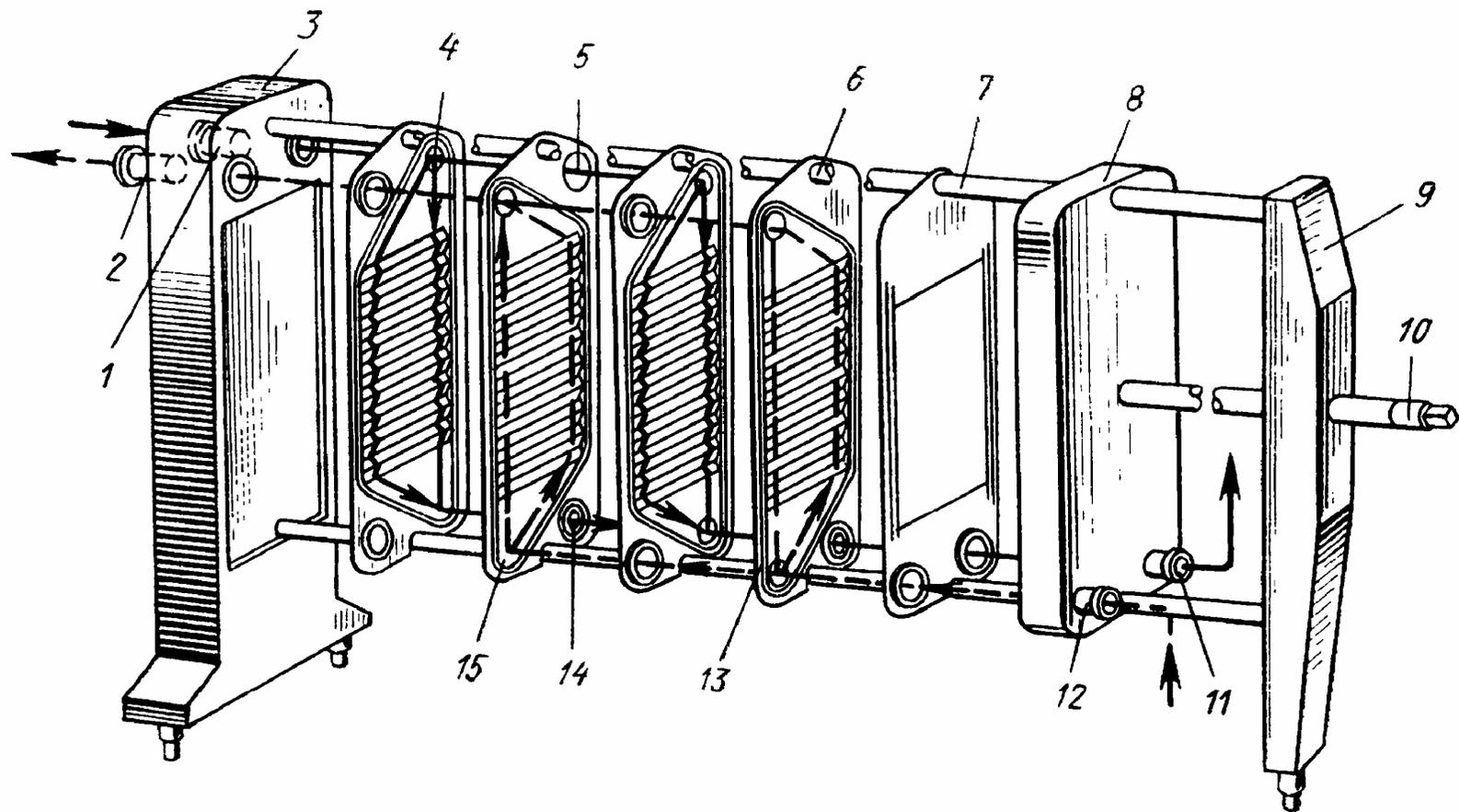
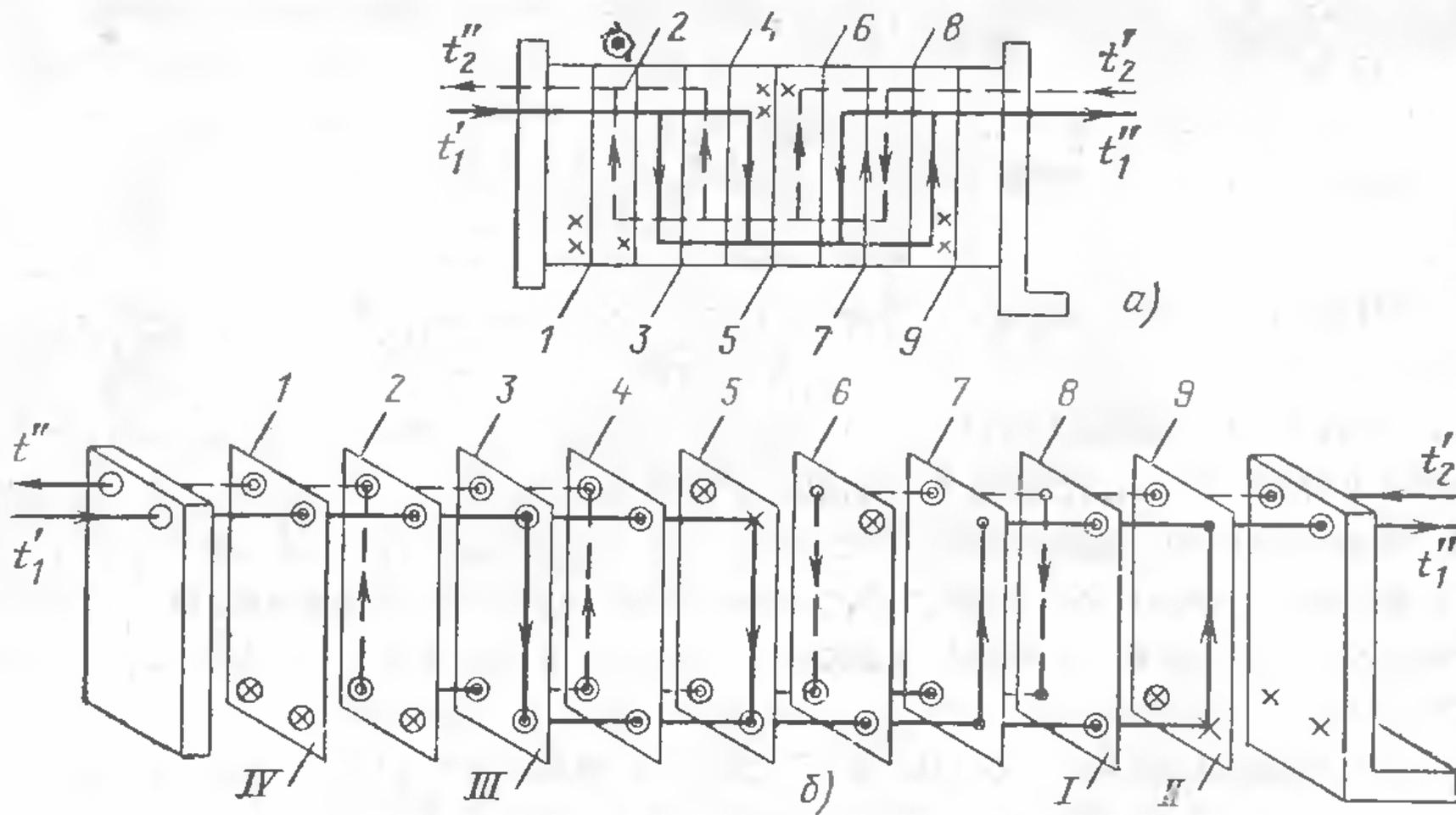
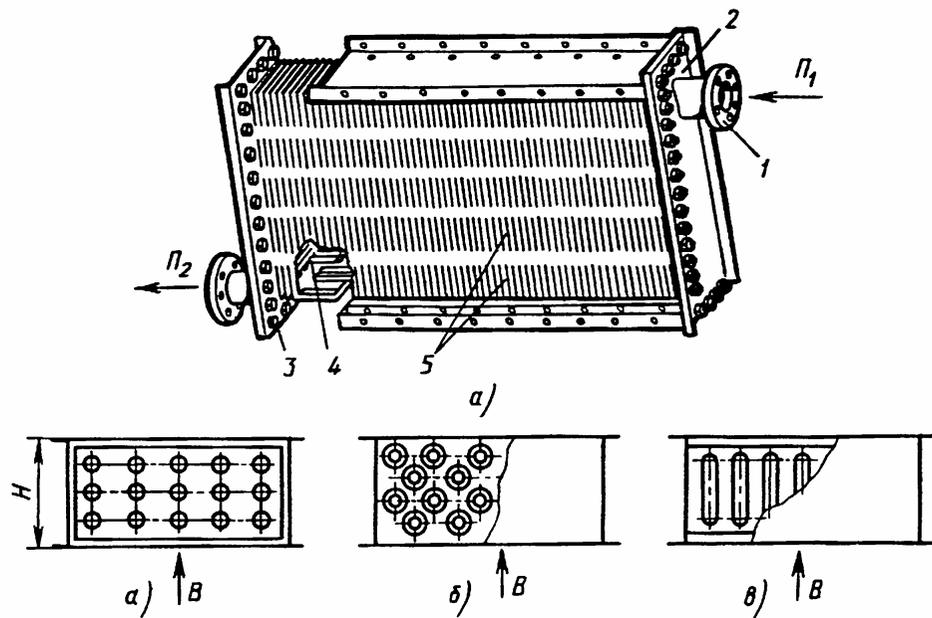


Схема современного пластинчатого аппарата:

1, 2, 11, 12 — штуцера; 3 — передняя стойка; 4 — верхнее угловое отверстие, 5 — кольцевая резиновая прокладка; 6 — границная пластина; 7 — штанга; 8 — нажимная плита; 9 — задняя стойка, 10 — винт, 13 — большая резиновая прокладка, 14 — нижнее угловое отверстие, 15 — теплообменная пластина

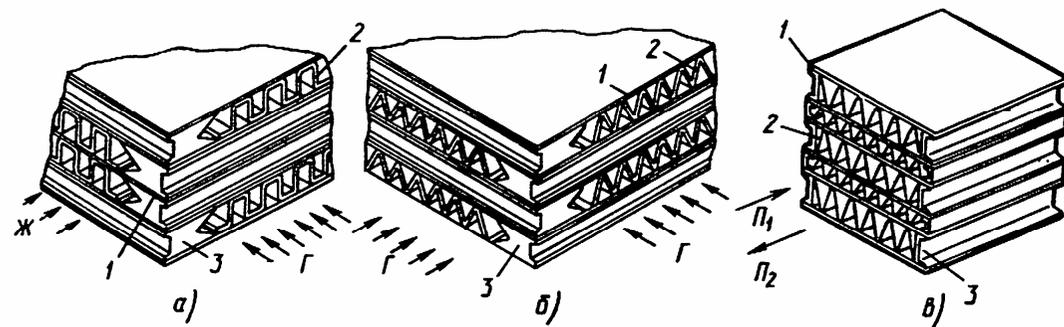


Компоновка пластин в два симметричных пакета



Калориферы различной конструкции:

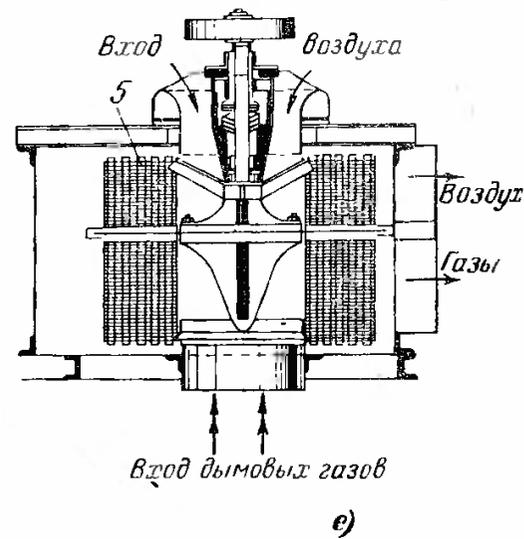
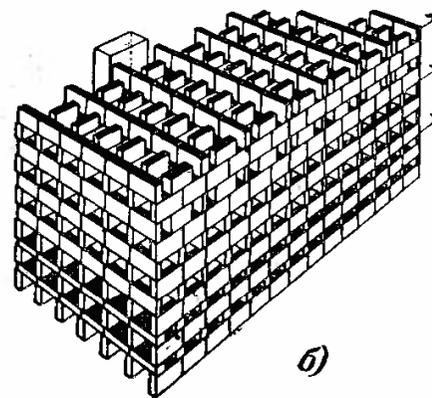
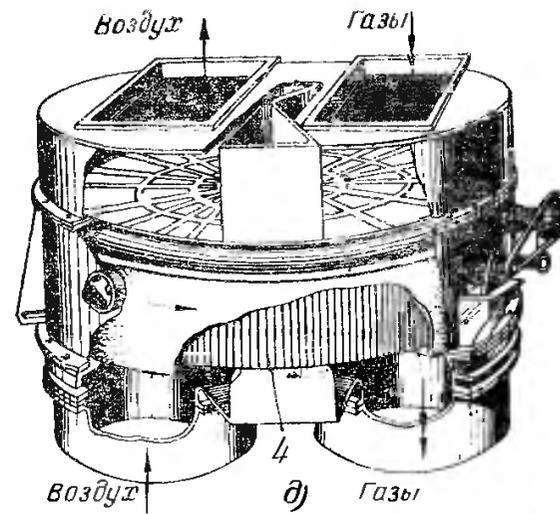
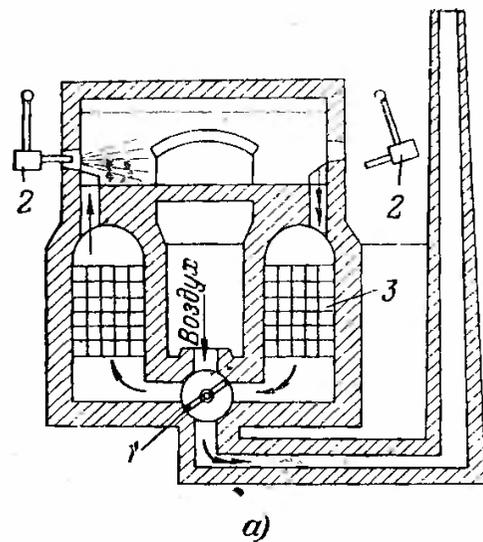
a – из круглых труб с коллективным оребрением; *б* – из труб с винтовым накатным оребрением; *в* – из плоских труб с коллективным оребрением; *1* – патрубок подвода греющего теплоносителя; *2* – корпус; *3* – сборный коллектор; *4* – трубы; *5* – пластины коллективного оребрения; *B* – воздух; Π_1 и Π_2 – вход и выход пара или воды



Пластинчато-ребристые поверхности теплообмена:

a – с прямоугольными каналами; *б* и *в* – с треугольными каналами; *1* – пластина; *2* – насадка; *3* – проставка; *Ж* – жидкость; *Г* – газ; Π_1 и Π_2 – вход и выход потока

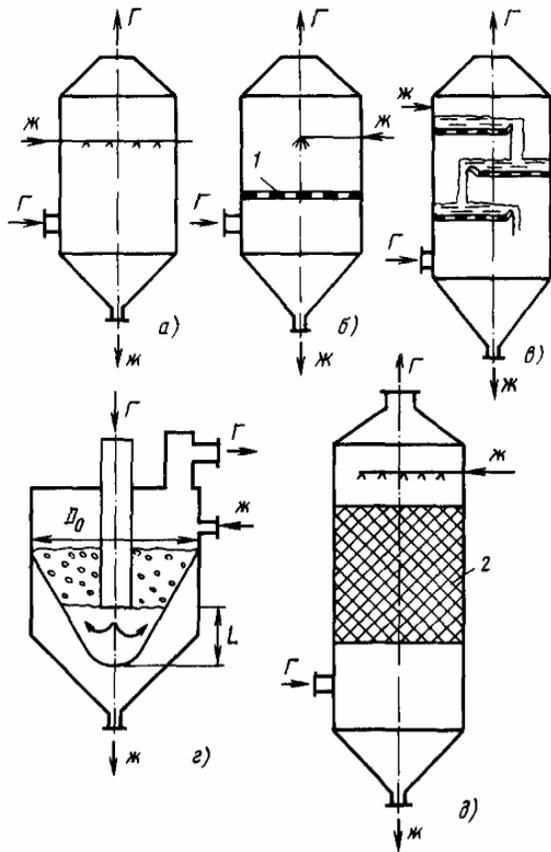
Регенеративные - аппараты, в которых одна и та же поверхность нагрева омывается то горячим, то холодным теплоносителем. При протекании горячей жидкости теплота воспринимается стенками аппарата и в них аккумулируется, при протекании холодной жидкости эта аккумулированная теплота ею воспринимается (регенераторы мартеновских и стеклоплавильных печей, воздухоподогреватели доменных печей и др.)



Некоторые типы регенераторов.

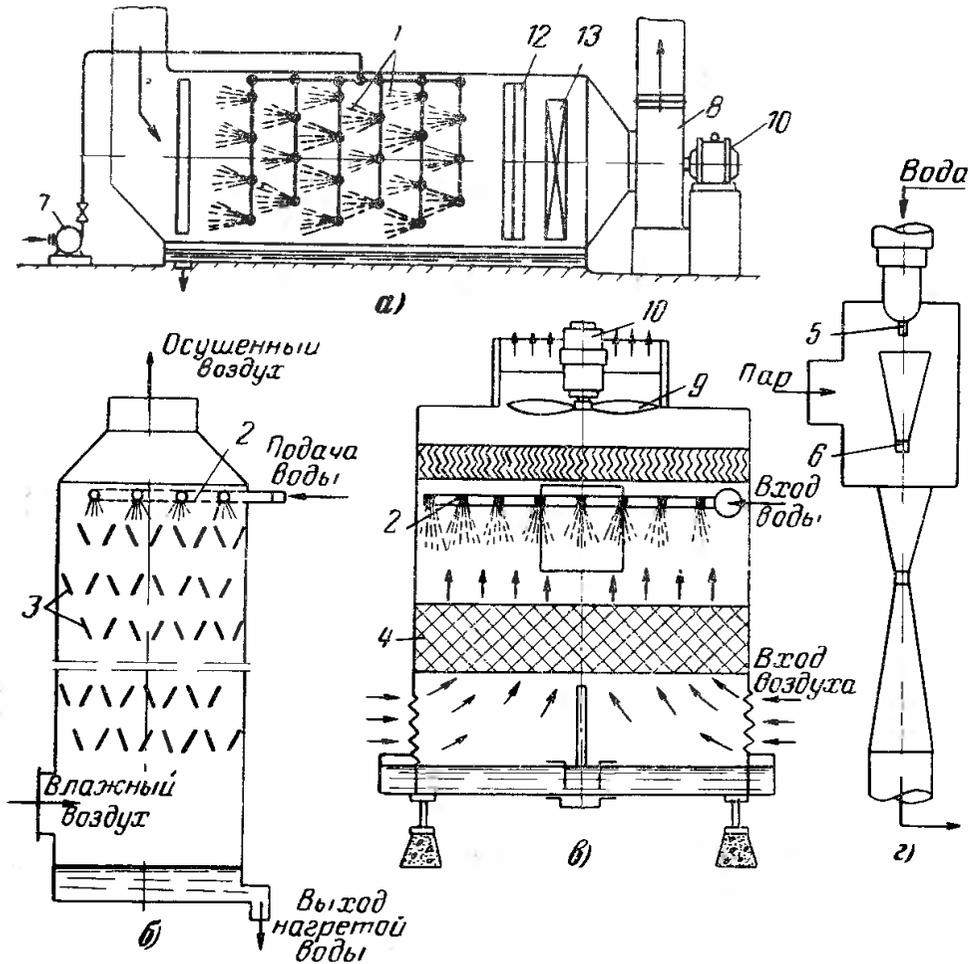
a — схема мартеновской печи с регенераторами; *б* — регенеративная насадка из огнеупорного кирпича; *г* — элемент металлической насадки; *д* — комбинированный регенеративный подогреватель — вентилятор-дымосос; — перекидной шибер; *2* — форсунки; *3* — насадка; *4* — вращающаяся насадка; *е* — ротор из пустотелых ребристых лопаток.

В *смесительных* аппаратах процесс теплопередачи происходит путем непосредственного соприкосновения и смешения горячего и холодного теплоносителей (башенные охладители (градирни), скрубберы и др.)



Смесительные теплообменники:

a — полый форсуночный; *б* — пенный; *в* — барботажный тарельчатый каскадного типа; *г* — водоподогреватель с погружным трубчатым барботером; *д* — насадочный; Г — газ; Ж — жидкость; 1 — решетка (тарелка); 2 — насадка



Типы смесительных теплообменников.

a — безнасадочный форсуночный; *б* — каскадный; *в* — насадочный; *г* — струйный; 1 — форсунки; 2 — трубы, распределяющие воду; 3 — каскады; 4 — насадка; 5 и 6 — сопла первой и второй ступеней струйного смесителя; 7 — насос; 8 и 9 — центробежный и осевой вентиляторы; 10 — электродвигатель; 11 — концентрические цилиндры; 12 — иллюминаторы-сепараторы влаги; 13 — подогреватель воздуха.

10.2 Рекуперативные аппараты

Тепловой расчет теплообменного аппарата



конструкторским, целью которого является определение площади теплообмена

поверочным, при котором устанавливается режим работы аппарата и определяются конечные температуры теплоносителя

уравнение теплопередачи

$$Q = kF(t_1 - t_2) \quad (10.1)$$

уравнение теплового баланса

$$Q_1 = Q_2 + \Delta Q \quad (10.2)$$

– количество теплоты, отданное горячим теплоносителем;

$$Q_1 = G_1 \delta i_1 = G_1 c_{p1} \delta t_1 = G_1 c_{p1} (t'_1 - t''_1)$$

– количество теплоты, воспринятое холодным теплоносителем;

$$Q_2 = G_2 \delta i_2 = G_2 c_{p2} \delta t_2 = G_2 c_{p2} (t''_2 - t'_2)$$

ΔQ – потери теплоты в окружающую среду;

G_1, G_2 – массовые расходы горячего и холодного теплоносителей;
 $\delta i_1, \delta i_2$ – изменение энтальпии теплоносителей;

c_{p1}, c_{p2} – удельные теплоемкости теплоносителей при постоянном давлении; t'_1, t'_2 – температуры горячего теплоносителя на входе и выходе из аппарата;

t''_1, t''_2 – температуры холодного теплоносителя на входе и выходе его из аппарата.

В тепловых расчетах важное значение имеет величина, называемая водяным эквивалентом W , Вт/°С

$$W = Gc_p$$

где $G = \rho w f$ – массовый расход теплоносителя;

w – скорость теплоносителя;

ρ – плотность теплоносителя;

f – площадь сечения канала.

$$\frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'} = \frac{\delta t_1}{\delta t_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

$$\frac{dt_1}{dt_2} = \frac{W_2}{W_1}$$

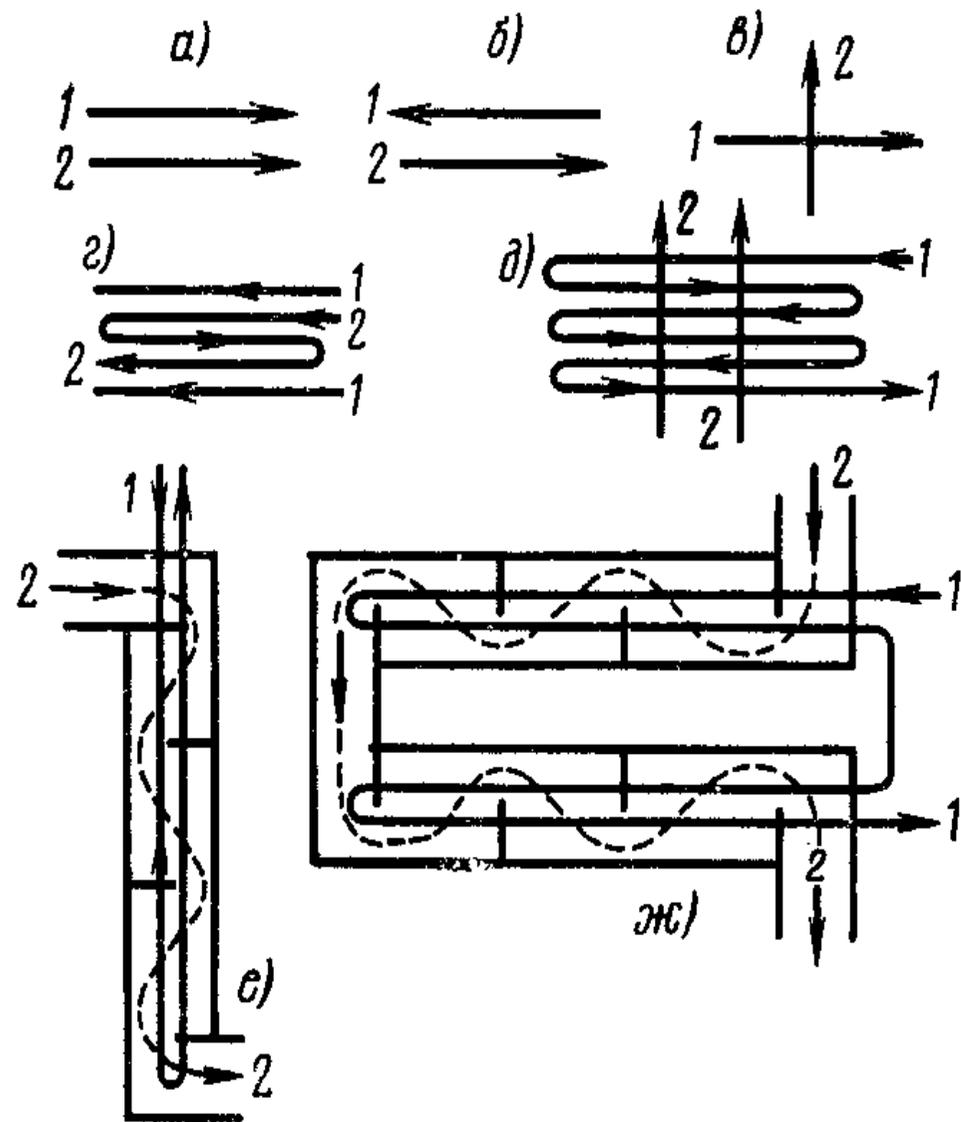
где dt_1 и dt_2 – изменения температуры рабочих жидкостей на элементе поверхности.

Схемы движения жидкостей в теплообменных аппаратах

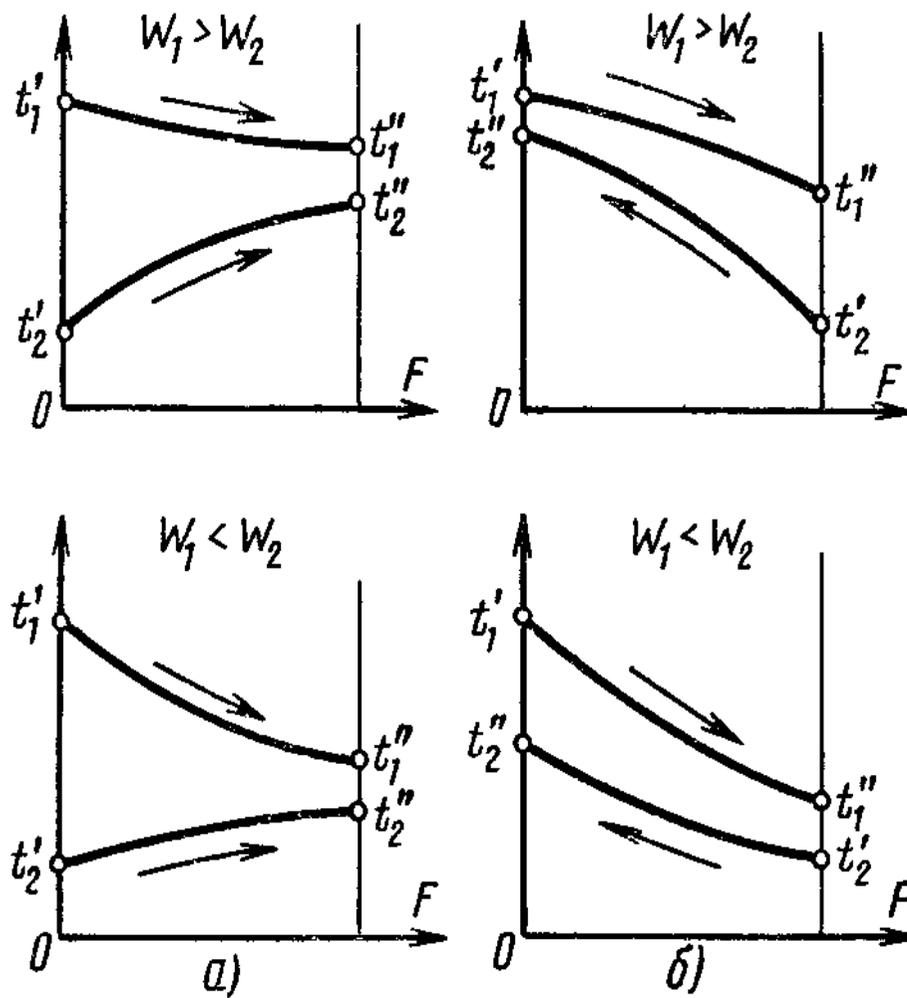
А) *прямоточная* - Если в теплообменном аппарате горячая и холодная жидкости протекают параллельно и в одном направлении

Б) *противоток* - если жидкости протекают параллельно, но в прямо противоположном направлении

В) *перекрестный ток* - если жидкости протекают в перекрестном направлении



Схемы движения рабочих жидкостей в теплообменниках



Характер изменения температур рабочих жидкостей при прямотоке (а) и противотоке (б).

Средний температурный напор

Количество теплоты, передаваемое в единицу времени от горячей жидкости к холодной через элемент поверхности dF определяется уравнением

$$dQ = k(t_1 - t_2)dF$$

$$dt_1 = -dQ / G_1 c_{p1} = -dQ / W_1$$

$$dt_2 = dQ / G_2 c_{p2} = dQ / W_2$$

Изменение температурного напора

$$dt_1 - dt_2 = d(t_1 - t_2) = -(1/W_1 + 1/W_2)dQ = -mdQ$$

где $m = 1/W_1 + 1/W_2$

$$d(t_1 - t_2) = -mk(t_1 - t_2)dF$$

$$d(\Delta t) / \Delta t = -mkdF$$

$$\int_{\Delta t'}^{\Delta t} \frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = -mk \int_0^F dF$$

$$\ln \frac{\Delta t}{\Delta t'} = -mkF$$

$$\Delta t = \Delta t' e^{-mkF}$$

где Δt – местное значение температурного напора ($t_1 - t_2$), относящееся к элементу поверхности теплообмена, $\Delta t'$ – на входе в аппарат.

$$\Delta \bar{t} = \frac{1}{F} \int_0^F \Delta t dF = \frac{\Delta t'}{F} \int_0^F e^{-mkF} dF = \frac{\Delta t'}{-mkF} (e^{-mkF} - 1)$$

Среднеарифметический температурный напор при прямотоке

$$\Delta \bar{t} = \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}}$$

Среднеарифметический температурный напор при противотоке

$$\Delta \bar{t} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}}$$

окончательная формула среднелогарифмического температурного напора для прямотока и противотока

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}$$

$\Delta t_{\text{б}}$ - больший,

$\Delta t_{\text{м}}$ - меньший температурные напоры между рабочими жидкостями.

когда температура рабочих жидкостей вдоль поверхности нагрева изменяется незначительно, средний температурный напор можно вычислить как среднеарифметическое из крайних напоров

$$\Delta \bar{t} = \frac{1}{2} (\Delta t' + \Delta t'')$$

Для аппаратов со смешанным током задача осреднения температурного напора отличается сложностью математических выкладок. Результат решения обычно представляют в виде графиков. Сначала вычисляют средний температурный напор при противотоке, затем вспомогательные параметры, позволяющие по графикам определить поправку $\varepsilon_{\Delta t}$ на температурный напор:

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} \quad R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'}$$

$$\bar{\Delta t} = e_{\Delta t} \bar{\Delta t}_{\text{прот}}$$

Для перекрёстного тока предложена формула:

$$\bar{\Delta t} = \Delta t_p - a\Delta t_1 - b\Delta t_2$$

где $\Delta t_p = t'_1 - t'_2$ - располагаемый температурный напор,

$$a = 0,525 + 0,126(P \cdot R)^2 \approx 0,6$$

$$b = 0,525 + 0,126(P)^2 \approx 0,5$$

Коэффициент теплопередачи

Для жидкости с большим водяным эквивалентом средняя температура берется как среднеарифметическое из крайних значений, например, $t_6 = 0,5(t_6' + t_6'')$.

При этом для другой жидкости, с меньшим водяным эквивалентом, средняя температура определяется из соотношения $t_m = t_6' \pm \Delta t$.

Среднеарифметический коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{k' + k''}{2}$$

Универсальная методика базируется на концепции экспоненциального изменения коэффициента k по поверхности площадью F , что очень близко к действительности. В случае наиболее сильного влияния на коэффициент теплопередачи изменения теплофизических свойств греющего теплоносителя

$$t_1 = t_1' + \frac{t_1' - t_1''}{\ln \frac{k'}{k''}} \ln \frac{W_2 (t_2'' - t_2')}{k' F \Delta t_{cp}}$$

$$t_2 = t_2' + \frac{t_1 - t_1''}{A_k} \quad n_k = \frac{\ln \frac{k'}{k''}}{t_1' - t_1''} \quad A_k = \frac{k'}{e^{n_k t_1'}}$$

где k' – коэффициент теплопередачи на горячем конце теплообменника, причем горячим считается конец теплообменника с самой высокой температурой теплоносителя, изменение теплофизических свойств которого наиболее сильно влияет на коэффициент теплопередачи. Определяющие температуры принимаются равными температурам тепло-носителей на горячем конце теплообменника; k'' – то же, но на холодном конце теплообменника.

Если резко меняются условия омывания поверхности нагрева рабочей жидкостью,

$$k = \frac{k_1 F_1 + k_2 F_2 + k_3 F_3}{F_1 + F_2 + F_3}$$

где F_1, F_2, F_3 – отдельные участки площади поверхности нагрева;
 k_1, k_2, k_3 – средние значения коэффициента теплопередачи на этих участках.

Расчет конечной температуры рабочих жидкостей

$$t_1'' = t_1' - Q/W_1 \quad (\text{a})$$

$$t_2'' = t_2' + Q/W_2 \quad (\text{б})$$

$$Q = kF \left(\frac{t_1' + t_1''}{2} - \frac{t_2' + t_2''}{2} \right)$$

$$Q = kF (t_1' - Q/2W_1 - t_2' - Q/2W_2)$$

$$\frac{Q}{kF} + \frac{Q}{2W_1} + \frac{Q}{2W_2} = Q \left(\frac{1}{kF} + \frac{1}{2W_1} + \frac{1}{2W_2} \right) = t_1' - t_2'$$

$$Q = \frac{t_1' - t_2'}{\frac{1}{kF} + \frac{1}{2W_1} + \frac{1}{2W_2}}$$

Зная количество переданной теплоты Q , по формулам (а) и (б) определить и конечные температуры рабочих жидкостей

