

Теплопередача или теплообмен

Необратимые процессы распространения
теплоты в пространстве

Три вида теплообмена:

теплопроводность – молекулярный перенос
теплоты в телах, обусловленный разностью
температур

конвекция – процесс переноса теплоты при
перемещении жидкости или газа

тепловое излучение – процесс
распространения теплоты с помощью
электромагнитных волн

Теплообмен между потоком вещества и поверхностью твердой стенки называют **теплоотдачей**

Теплообмен между потоками вещества, разделенными твердой поверхностью - **теплопередачей**

Гипотеза Фурье

Количество теплоты, проходящее через единицу изотермической поверхности в единицу времени пропорционально температурному градиенту

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dn} dF dt$$

Коэффициент теплопроводности

Количество тепла, проходящее через единицу изотермической поверхности в единицу времени при температурном градиенте, равном единице. Измеряется в Вт/(м*К).

Металлы – 10 – 500

Неметаллы (диэлектрики) - <1

Жидкости – 0,07 – 0,7

Газы – 0,006 – 0,6

Коэффициент температуропроводности

Характеризует скорость изменения температуры в телах.

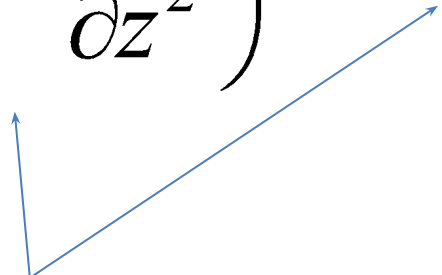
$$a = \frac{\lambda}{c\rho}$$

Измеряется $\text{м}^2/\text{с}$.

Дифференциальное уравнение теплопроводности в твердом теле (уравнение Фурье)

$$\frac{dt}{d\tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 t$$

оператор Лапласа
(«набла»)



Условия однозначности

- Дифференциальное уравнение теплопроводности описывает целый класс явлений теплопроводности
- Чтобы выделить конкретный рассматриваемый процесс и дать его полное математическое описание к дифференциальному уравнению необходимо присоединить математическое описание всех частных особенностей рассматриваемого процесса
- Эти частные особенности, которые совместно с дифференциальным уравнением дают полное математическое описание конкретного процесса теплопроводности, называются **условиями однозначности** или **краевыми условиями**

Условия:	Характеризующие
Геометрические	Форму, размеры тела
Физические	Физические свойства среды и тела
Временные (начальные)	Распространение температур в теле в начальный момент времени
Граничные	Взаимодействие рассматриваемого тела с окружающей средой

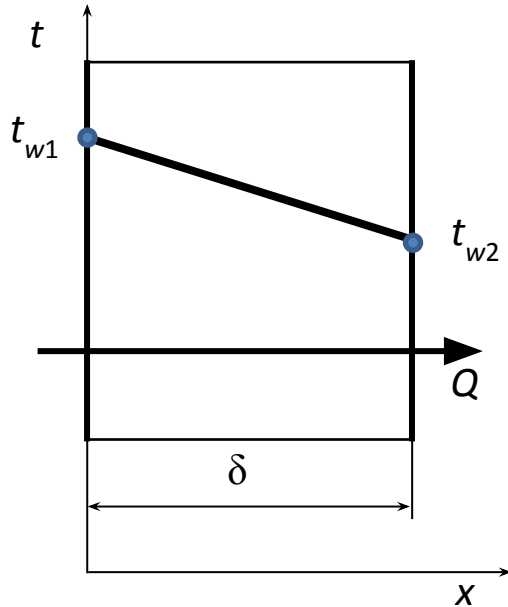
Граничные условия: задается

I рода	Распределение температуры на поверхности тела для каждого момента времени $t_c = f(x, y, z, \tau)$
II рода	Значения теплового потока для каждой точки поверхности тела и любого момента времени $q_n = f(x, y, z, \tau)$
III рода	Температура окружающей среды $t_{ж}$ и закон теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой (закон Ньютона-Рихмана) $q = \alpha(t_c - t_{ж})$
IV рода	Характер теплообмена системы соприкасающихся тел – отношение тангенсов угла наклона касательных к температурным кривым в точке соприкосновения тел $\lambda_1 \left(\frac{\partial t_1}{\partial n} \right)_c = \lambda_2 \left(\frac{\partial t_2}{\partial n} \right)_c \quad \frac{tg \varphi_1}{tg \varphi_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = const$

$$\alpha = \frac{q}{(t_c - t_{жс})} = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right]$$

- Коэффициент теплоотдачи характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой.
- Численно равен количеству теплоты, отдаваемому (или воспринимаемому) единицей поверхности в единицу времени при разности температур между поверхностью тела и окружающей средой равной одному градусу

Передача тепла через плоскую стенку



$$\frac{d^2 t}{dx^2} = 0$$

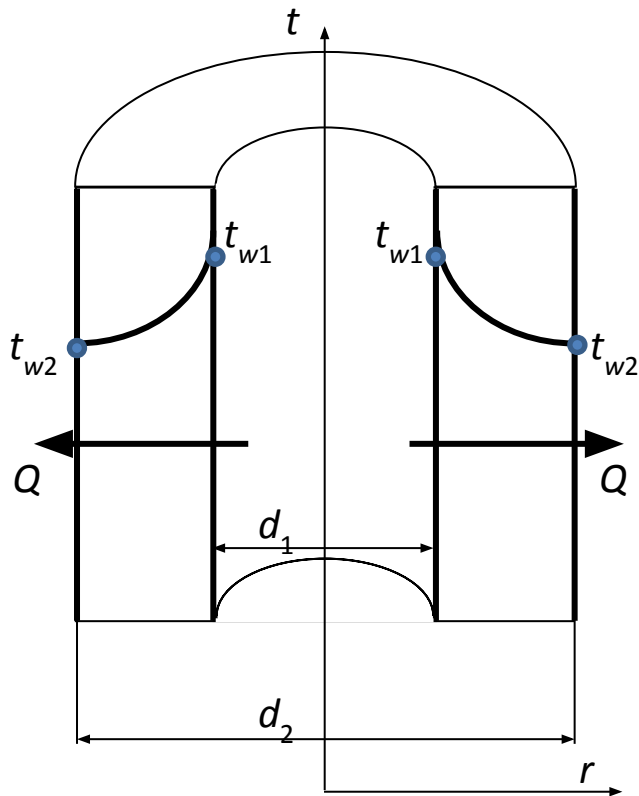
граничные условия:

- при $x = 0$ $t = t_{w1}$,
- при $x = \delta$ $t = t_{w2}$,

$$t = t_{w1} - \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} x$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2})$$

Передача тепла через цилиндрическую стенку



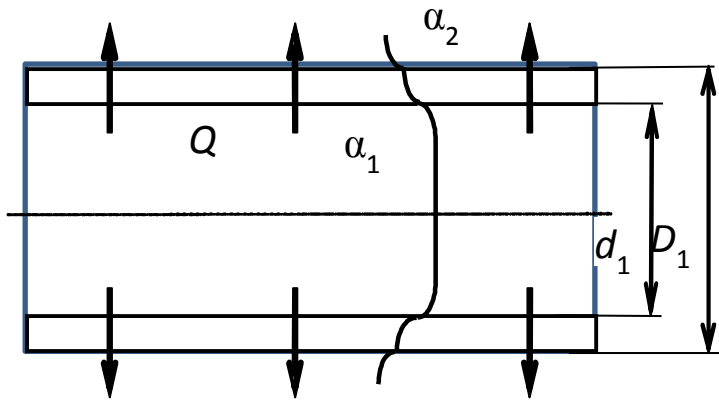
граничные условия:

- при $r = r_1$ $t = t_{w1}$,
- при $r = r_2$ $t = t_{w2}$,

$$t = t_{w1} - (t_{w1} - t_{w2}) \frac{\ln(d/d_1)}{\ln(d_2/d_1)}$$

$$Q = \frac{2\pi\lambda L(t_{w1} - t_{w2})}{\ln \frac{d_1}{d_2}}$$

Граничные условия третьего рода



$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{2\lambda_T} \ln \frac{D_1}{d_1} + \frac{d_1}{\alpha_2 D_1}}$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_T} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Теплообменники

Теплотехнические устройства, в которых осуществляется теплообмен между двумя или несколькими средами.

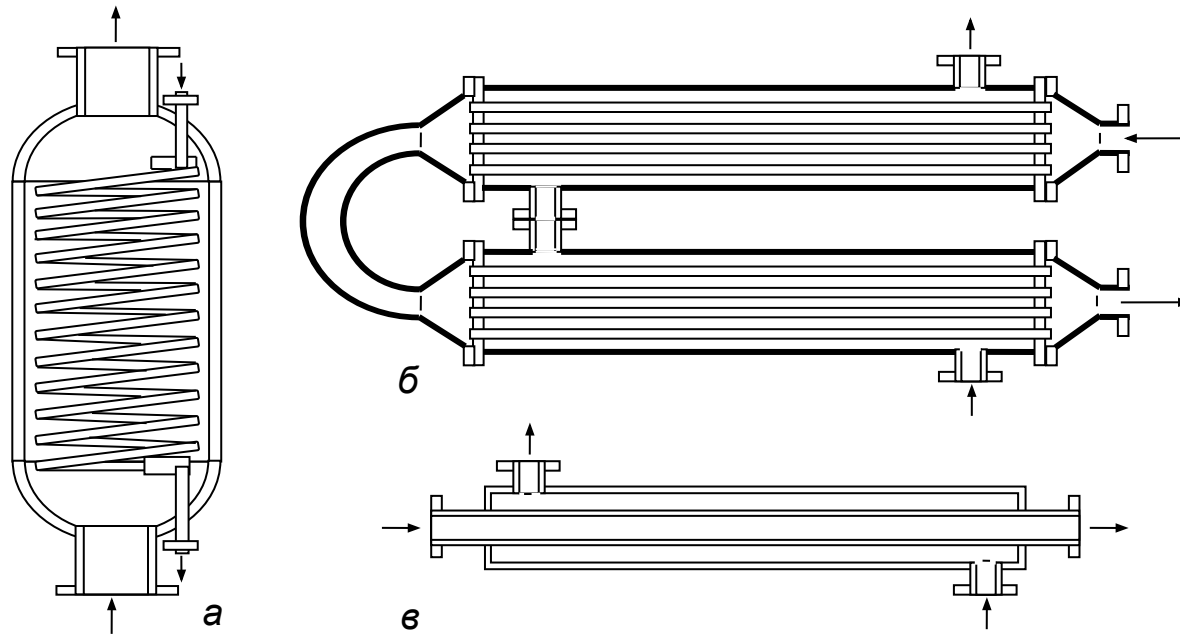
Движущиеся среды, обменивающиеся теплотой, называют *теплоносителями* или *рабочими телами*.

В зависимости от назначения теплообменные аппараты называют *подогревателями, испарителями, пароперегревателями, конденсаторами, холодильниками, радиаторами* и т.д.

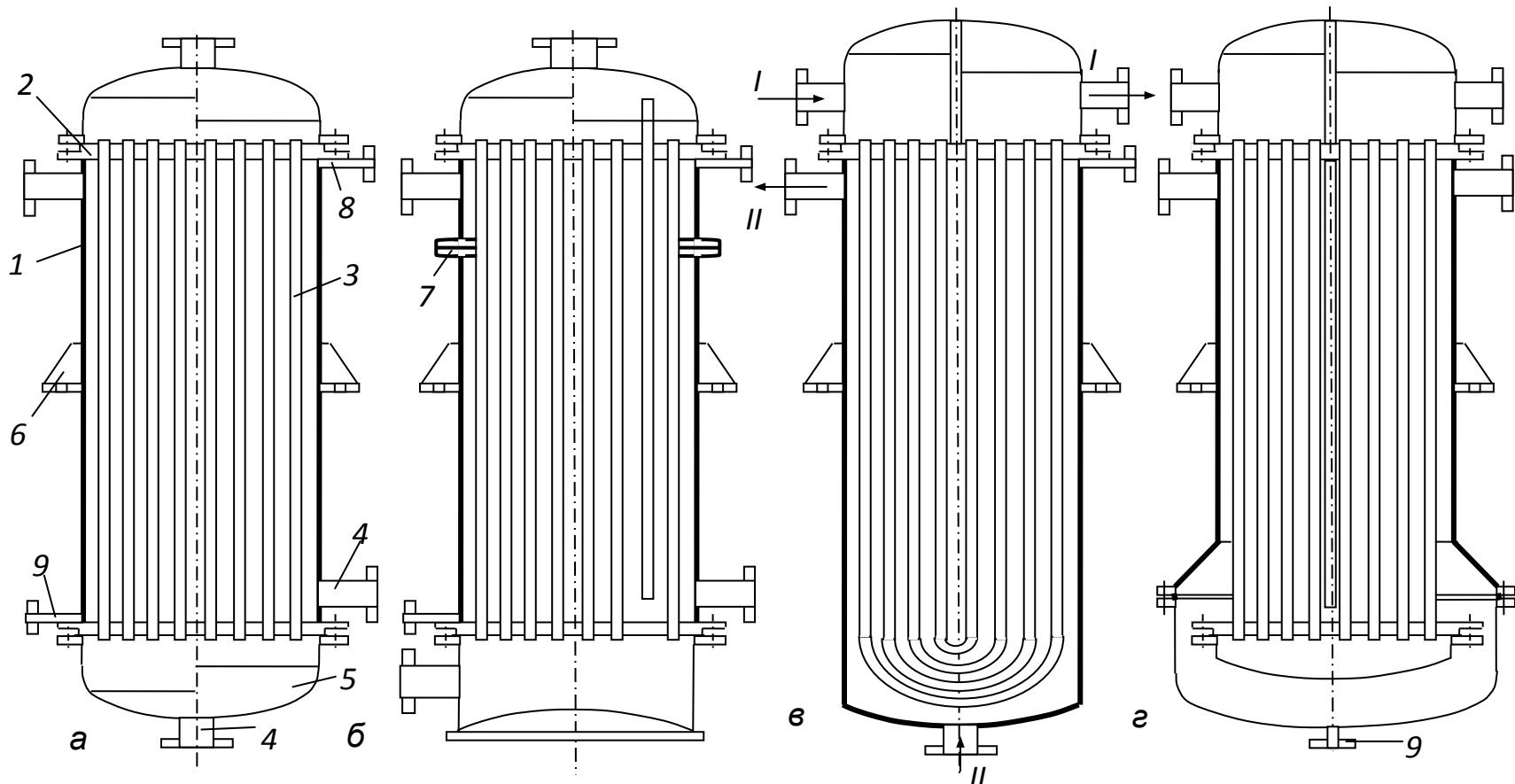
По принципу действия различают *поверхностные* и *контактные аппараты*.

Поверхностные теплообменные аппараты делят на

Рекуперативные теплообменники подразделяются на *кожухотрубчатые, змеевиковые, типа «труба в трубе», секционные, спиральные, пластинчатые и др.*

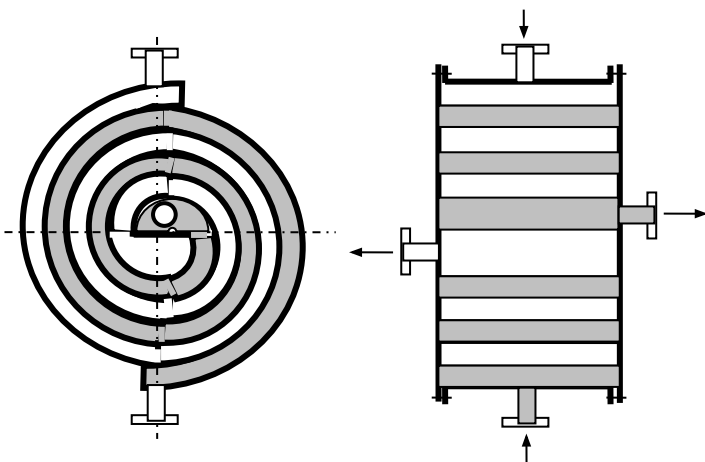


Змеевиковые и секционные рекуперативные теплообменные аппараты
а – с витой трубчатой поверхностью нагрева; б – секционный; в – "труба в трубе"

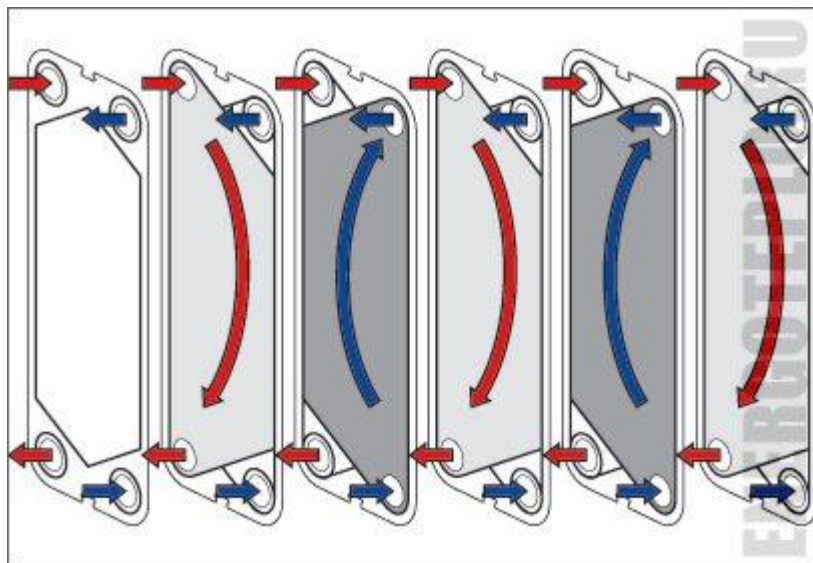


Типы кожухотрубчатых теплообменников

а – с жестким креплением труб в трубных решетках; б – с линзовым температурным компенсатором на кожухе; в - с U-образными трубами; г – с плавающей головкой; 1 – корпус (кожух); 2 – трубная решетка (доска); 3 – трубы; 4 – патрубок (штуцер); 5 – днище (крышка); 6 – опорная лапа; 7 – линзовый компенсатор; 8 – штуцер для отвода неконденсирующихся газов; 9 – штуцер для опорожнения межтрубного пространства



Спиральный теплообменник



- Расчет теплообменника производится в двух вариантах:

1 – *проектный* и 2 – *проверочный*

- В первом случае рассчитывается поверхность теплообменного аппарата;
- Во втором - интенсивность теплообмена или количество передаваемой теплоты через известную поверхность теплообмена.

Расчет проводится методом последовательных приближений

$$Q = kF \Delta T t$$

Интенсификация теплопередачи

$$Q = kF \Delta t$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{при } \delta/\lambda \rightarrow 0$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

а) 1) $\alpha_1 = 40$ и $\alpha_2 = 5000$ Вт/(м²·К);

$$k'_1 = 39,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

2) $\alpha_1 = 40$ и $\alpha_2 = 10\,000$ Вт/(м²·К).

$$k'_2 = 39,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

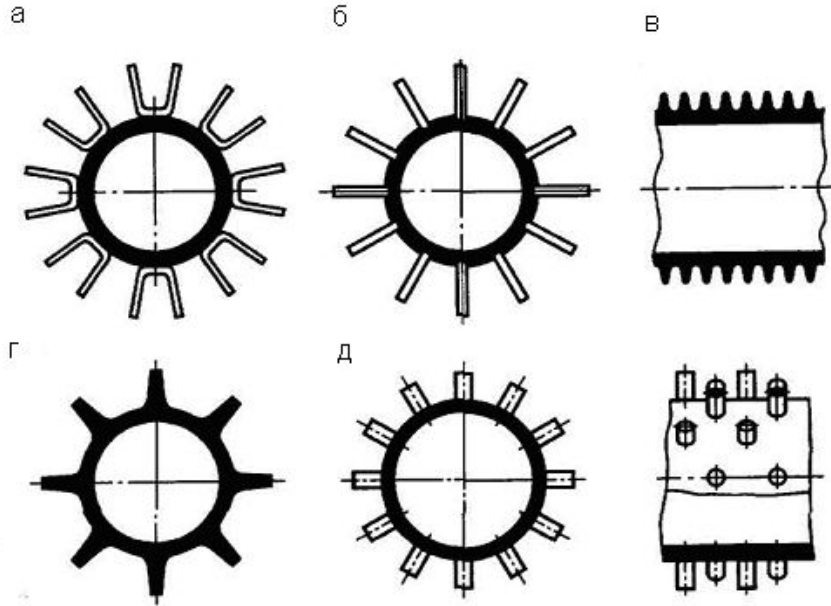
б) 1) $\alpha_1 = 80$ Вт/(м²·К) и $\alpha_2 = 5000$ Вт/(м²·К);

2) $\alpha_1 = 200$ Вт/(м²·К) и $\alpha_2 = 5000$ Вт/(м²·К)

$$k'_1 = 78,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

$$k'_2 = 192 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Трубчато-ребристая поверхность теплообмена



Оребренные трубы:

а - с приварными «корытообразными» ребрами; **б** - с завальцованными ребрами; **в** - с винтовыми накатанными ребрами; **г** - с выдавленными ребрами; **д** - с приварными шиповидными ребрами.

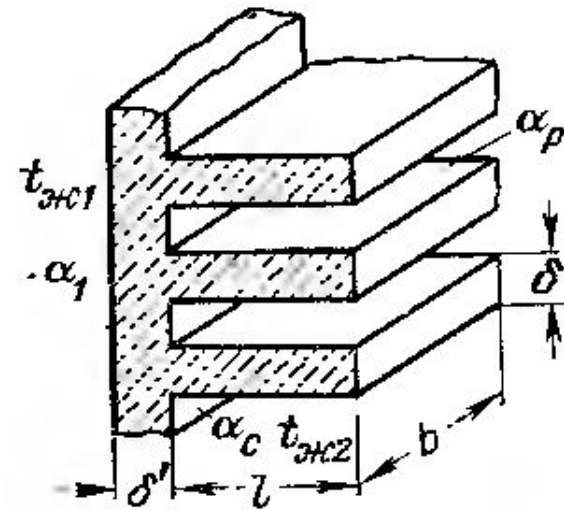
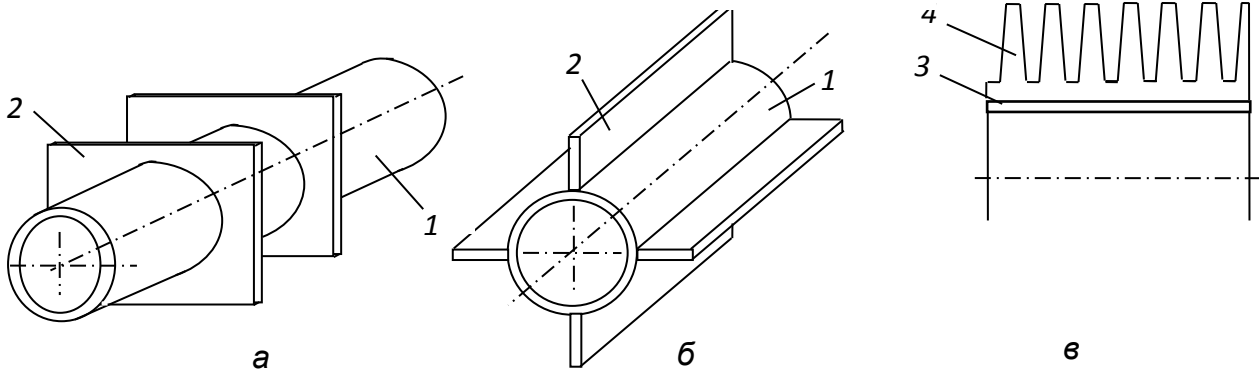
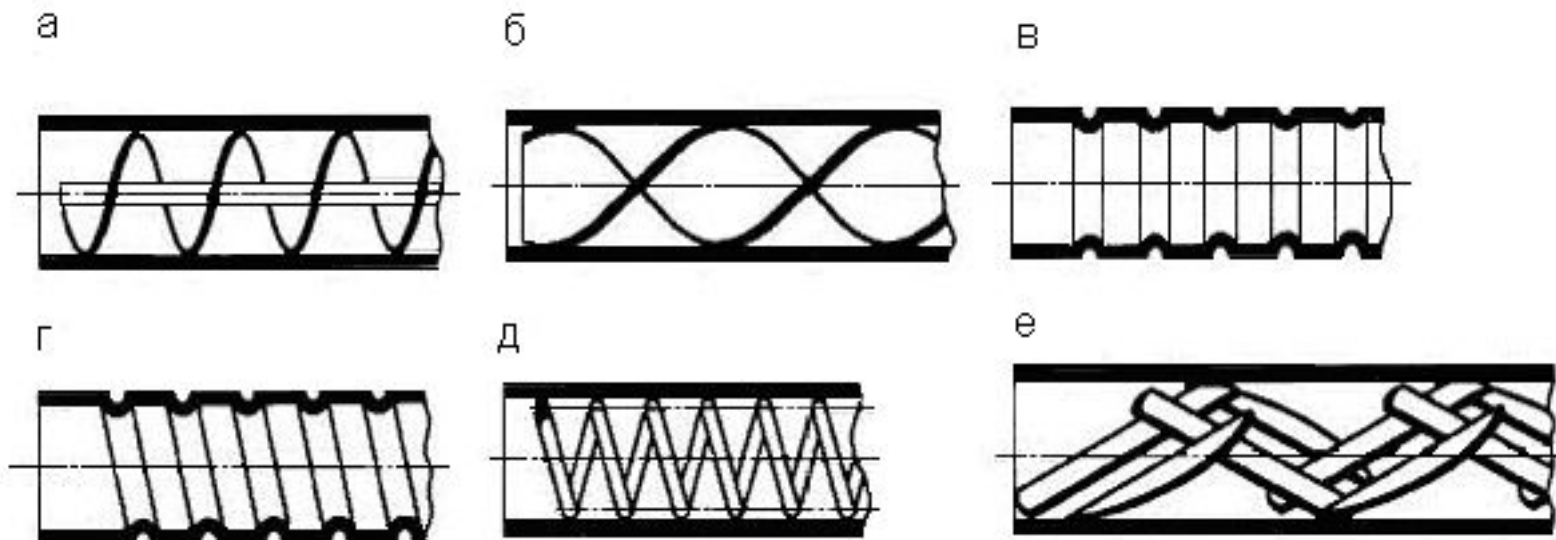


Рис. Ребристые трубы

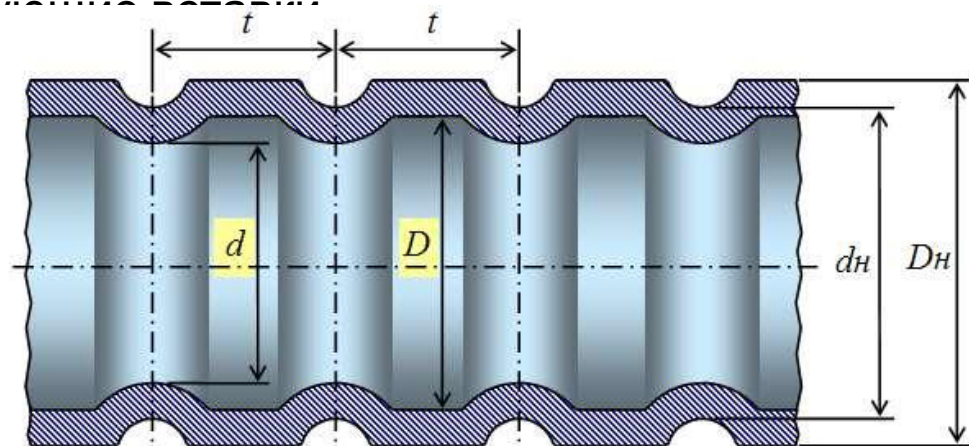
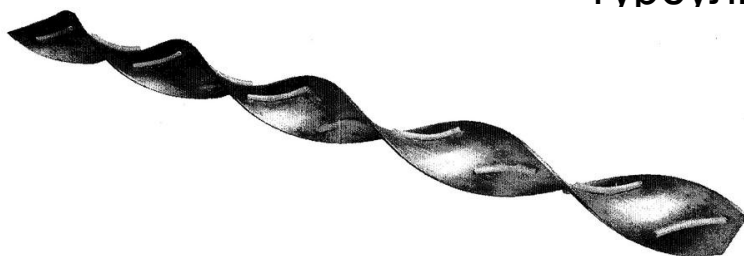
а – труба с индивидуальными поперечными ребрами; **б** – труба с индивидуальными продольными ребрами; **в** – биметаллические накатные ребристые трубы;

1 – гладкая труба; 2 – индивидуальное ребро; 3 – сердечник; 4 – рубашка с выдавленным на ней оребрением



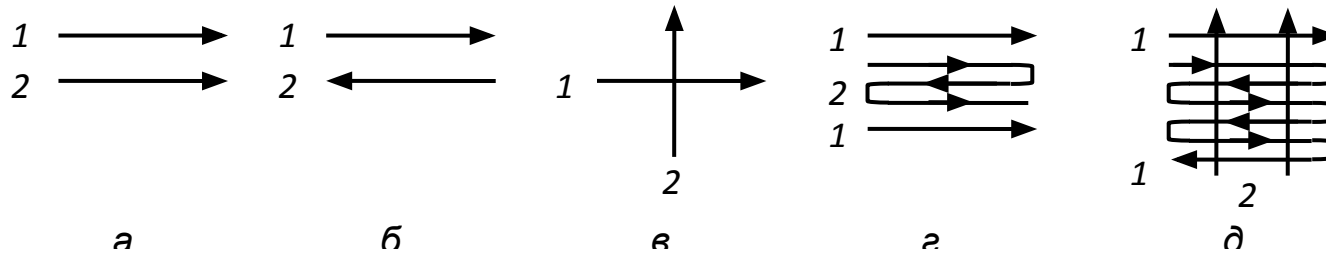
Теплообменные трубы с турбулизаторами:

а - шнековые завихрители; б - ленточные завихрители; в - диафрагмовые трубы с вертикальными канавками; г - диафрагмовые трубы с наклонными канавками; д - проволочные турбулизаторы; е - турбулизаторы с переплетением



Виды движения теплоносителей в теплообменных аппаратах:

1 – прямого тока; 2 – противоточные; 3 – перекрестного тока; 4 – со сложным направлением движения теплоносителей (смешанного тока)



Схемы движения теплоносителей в теплообменниках

а – прямоток; б – противоток; в – перекрестный; г – смешанная схема;

д - многократный перекрестный ток

Ориентировочные значения коэффициента теплопередачи

Вид теплообмена	Вт/(м ² *К)
От газа к газу (при невысоких давлениях)	10 – 40
От газа к жидкости (газовые холодильники)	10 – 60
От конденсирующегося пара к газу (воздухоподогреватели)	10 – 60
От жидкости к жидкости (вода)	800 – 1700
От жидкости к жидкости (углеводороды, масла)	120 – 270
От конденсирующегося пара к воде (конденсаторы, подогреватели)	800 – 3500
От конденсирующегося пара к органическим жидкостям	120 – 340
От конденсирующегося пара органических веществ к воде	300 – 800
От конденсирующегося пара к кипящей жидкости (испарители)	300-2500