

ФГПОУ ВПО «Астраханский Государственный Технический
Университет»

Кафедра «Теплоэнергетика»

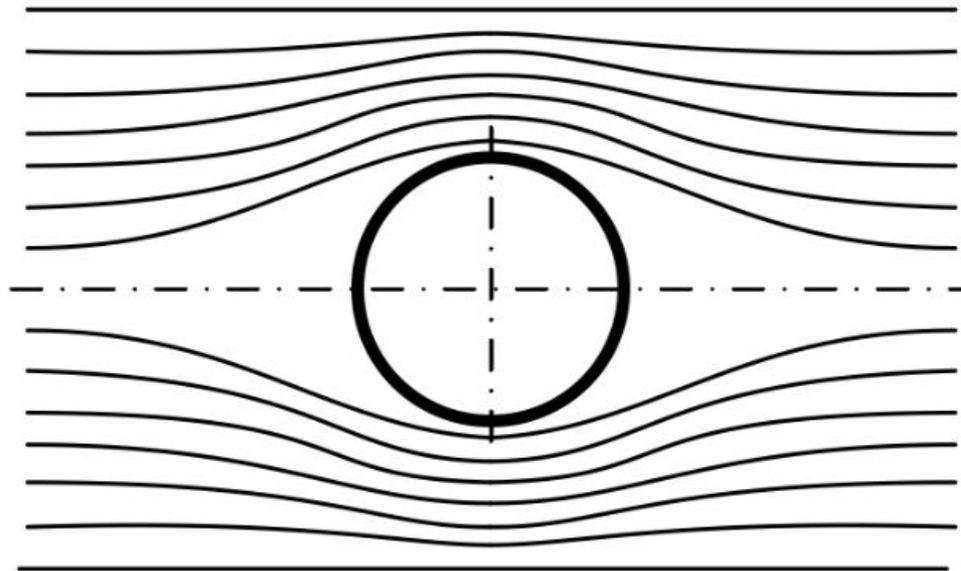
Лекция №8

на тему: «Теплоотдача при поперечном обтекании труб»
по дисциплине «Тепломассообмен»

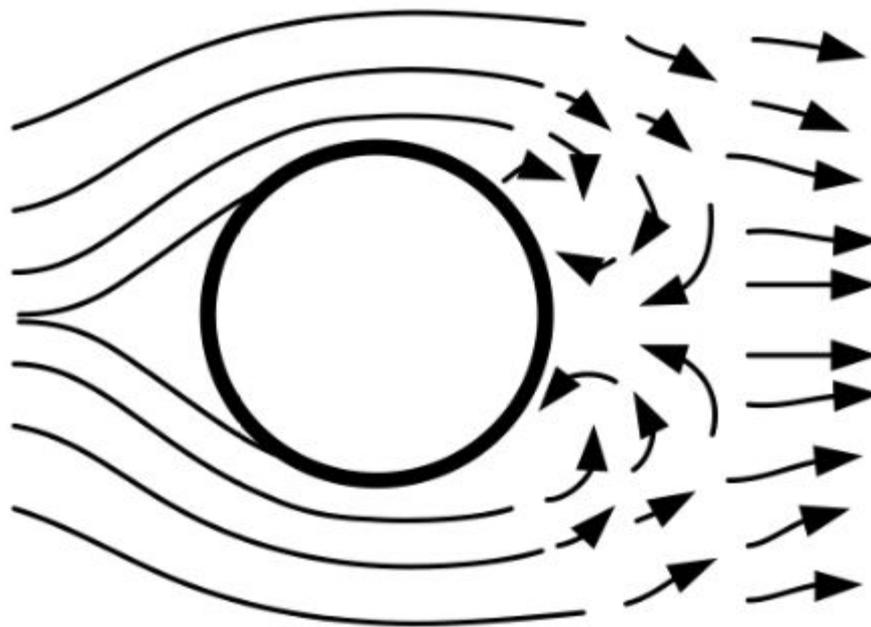
Астрахань – 2015 год

1. Одиночная труба.

Омывание трубы поперечным неограниченным потоком жидкости характеризуется рядом особенностей. Плавное, безотрывное обтекание трубы (рис.1) имеет место только при $Re = \leq 5$.

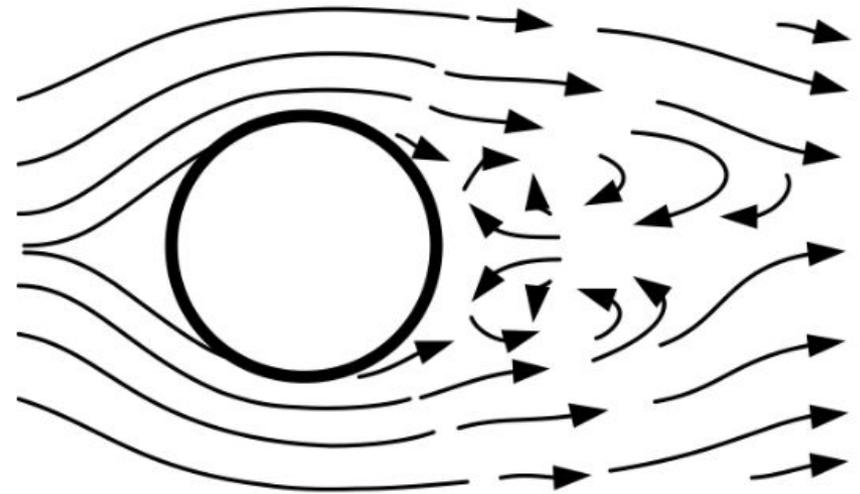


При $Re > 5$ поперечно-омываемая труба представляет собой неудобообтекаемое тело. Пограничный слой, образующийся на передней половине трубы, в кормовой части отрывается от поверхности, и позади цилиндра образуются два симметричных вихря (рис.2).



При дальнейшем увеличении Re вихри вытягиваются по течению все дальше от трубы. Затем вихри периодически отрываются от трубы и уносятся потоком жидкости, образуя за трубой вихревую дорожку. (рис.3). До Re $\approx 10^3$ частота отрыва вихря растет и затем в области Re = $10^3 \div 2 \cdot 10^5$ становится практически постоянной величиной, характеризуемой числом Струхала:

$$Sh = \frac{fd}{w_0}, \text{ где } f - \text{ частота.}$$



Процесс теплоотдачи при поперечном обтекании труб имеет ряд особенностей, которые объясняются гидродинамической картиной движения жидкости вблизи поверхности трубы.

Образующийся на поверхности трубы пограничный слой имеет наименьшую толщину в лобовой точке и далее постепенно нарастает – до тех пор, пока не произойдет отрыв потока и образование вихревой зоны в кормовой части трубы.

Поэтому, в лобовой части трубы коэффициент наибольший, так как толщина пограничного слоя минимальна. Вследствие увеличения пограничного слоя по периметру трубы, достигая минимального значения в точке отрыва потока. В области вихревой зоны происходит за счет разрушения пограничной зоны (слоя).

Для расчета среднего по периметру трубы коэффициента рекомендуется использовать следующие зависимости:

Значение Re	Формула
$Re = 5 \dots 10^3$	$Nu = 0,5 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr_{ж}^{0,38} \cdot \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$
$Re = 10^3 \dots 2 \cdot 10^5$	$Nu = 0,25 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr_{ж}^{0,38} \cdot \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$
$Re = 3 \cdot 10^5 \dots 2 \cdot 10^6$	$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_{ж}^{0,37} \cdot \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$

где $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$

В качестве определяющего линейного размера принят внешний (наружный) диаметр трубы $d_{\text{нар}}$; определяющей температуры – температуры потока; скорость жидкости отнесена к самому узкому сечению канала, стесненному трубкой; выбирается по средней температуре стенки трубы.

Формулы справедливы для случая, когда угол φ между направлением потока и осью трубы («угол атаки») равен 90 . Если $\varphi < 90$, то теплоотдача \downarrow . При $\varphi = 30 \div 90$ можно использовать формулу:

$$\alpha_{\varphi} = \alpha_{\varphi=90^{\circ}} \cdot (1 - 0,54 \cdot \cos^2 \varphi)$$

или

$$\alpha_{\varphi} = \varepsilon_{\varphi} \cdot \alpha_{\varphi=90^{\circ}}$$

$\varphi = 0$	90	80	70	60	50	40	30	20	10
ε_{φ}	1,0	1,0	0,98	0,95	0,87	0,76	0,66	0,6	0,55

При $\varphi = 90^{\circ}$ – случай продольного омывания трубы. При прочих равных условиях поперечное обтекание дает более высокую теплоотдачу.

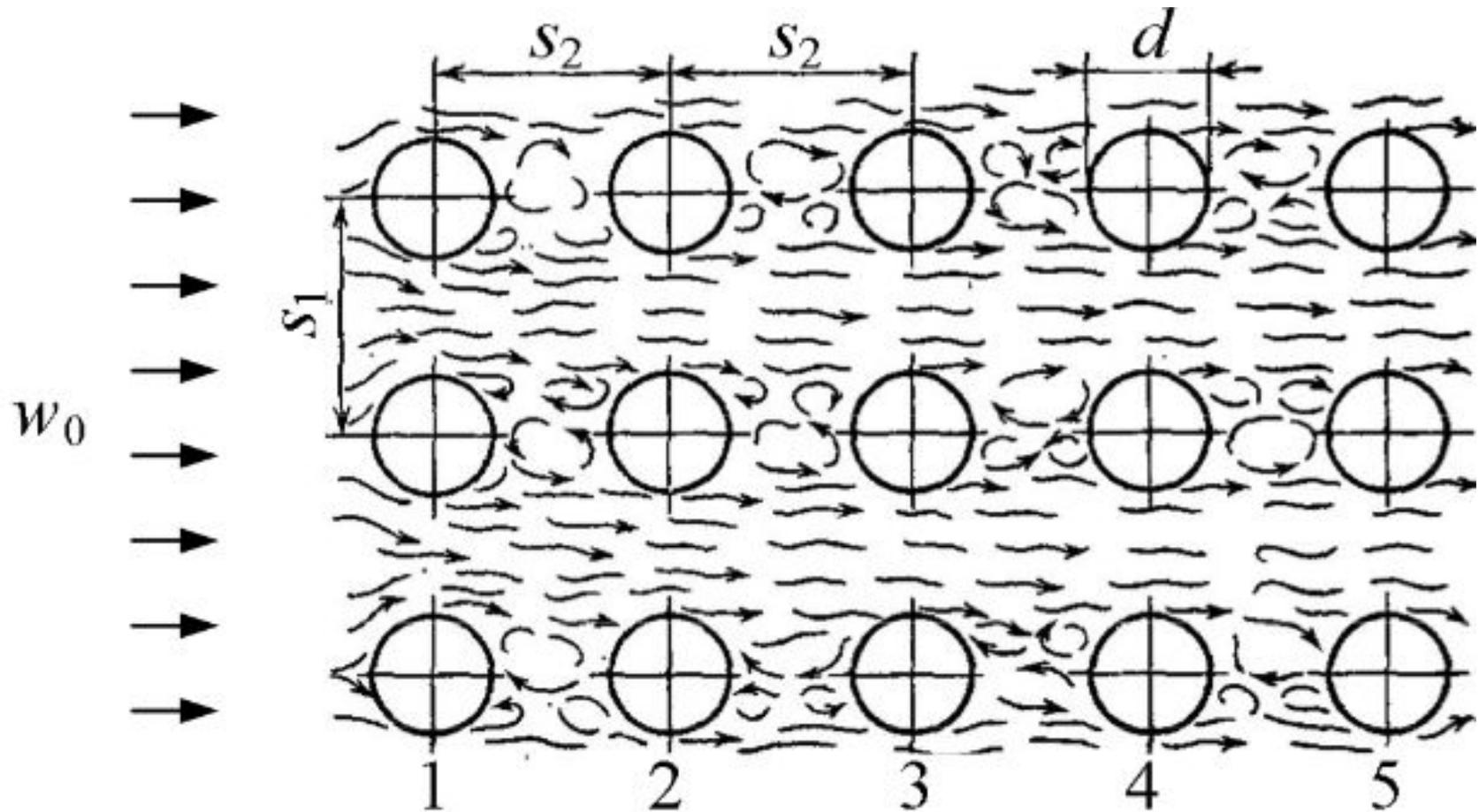
2. Пучки труб.

В теплообменниках с целью $\uparrow F$ трубы собирают в пучок. В основном, применяют 2 вида расположения труб в пучках:

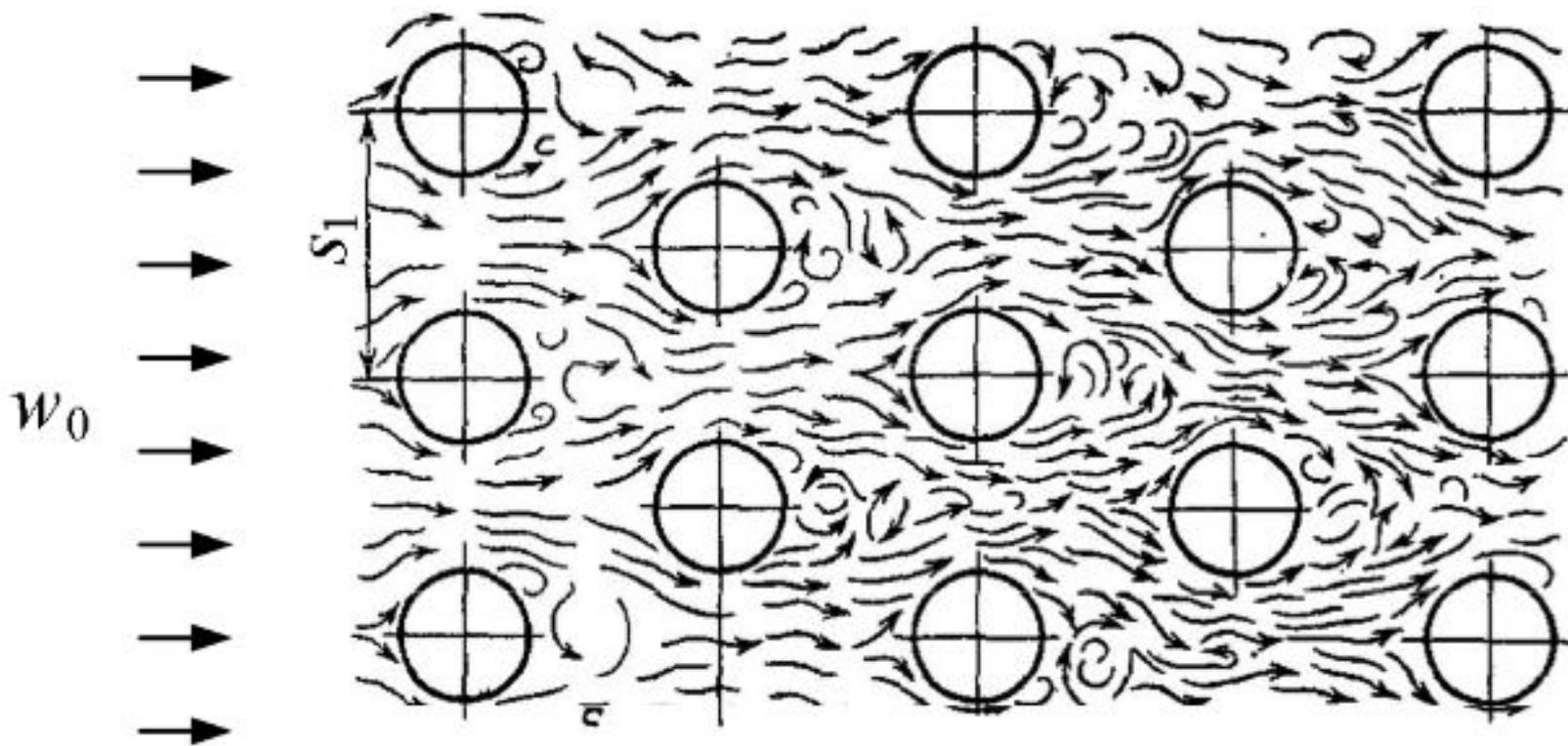
- ❖ Коридорное;
- ❖ Шахматное.

Характеристикой пучка являются:

- поперечный шаг S_1 ;
- продольный шаг S_2 ;
- внешний диаметр трубы $d_{\text{нар}}$.



«Коридорное»



«Шахматное»

Из экспериментальных данных следует, что теплоотдача трубок второго и третьего родов постепенно увеличивается по сравнению с первым рядом. Причина: увеличение турбулентности потока при прохождении через пучок. Начиная с третьего ряда и далее структура потока приблизительно остается const, следовательно α = const. **α**

Средний коэффициент теплоотдачи при $Re = 10^3 \dots 10^5$:

$$Nu = c \cdot Re^n \cdot Pr_{жс}^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \cdot \epsilon_i \cdot \epsilon_s$$

- Для шахматного пучка – $c = 0,41$; $n = 0,6$.
- Для коридорного пучка – $c = 0,26$; $n = 0,65$.

Поправочный коэффициент ϵ_s учитывает влияние относительных шагов $\frac{s_1}{d}$ и $\frac{s_2}{d}$.

Для коридорного пучка: $\epsilon_s = \left(\frac{s_2}{d} \right)^{-0,15}$, а для шахматного пучка:

$$\text{при } \frac{s_1}{s_2} < 2, \quad \epsilon_s = \left(\frac{s_1}{s_2} \right)^{\frac{1}{6}}; \quad \text{при } \frac{s_1}{s_2} \geq 2, \quad \epsilon_s = 1,12.$$

Поправочный коэффициент ϵ_i учитывает номер ряда. Для первого ряда труб $i = 1$ шахматного и коридорного пучков $\epsilon_1 = 0,6$. Для второго ряда труб $i = 2$ шахматного пучка $\epsilon_2 = 0,9$. Для третьего ряда $i = 3$ и последующих рядов $\epsilon_3 = 1$ для шахматного и коридорного пучков.

В качестве определяющей температуры принята средняя температура жидкости; определяющего геометрического размера - внешний диаметр трубы $d_{\text{нар}}$; скорость определяется в самом узком сечении пучка труб. Формулы пригодны для $\alpha_{\text{ср}} > 90^\circ$. Его значение α для всего пучка в целом определяется так:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot F_i)}{\sum_{i=1}^n (F_i)}$$

где:

α_i – средний коэффициент теплоотдачи i – ого ряда;

F_i – суммарная поверхность теплообмена трубок i - ого ряда;

n – число рядов в пучке.

Если $F_1, F_2 \dots F_n$, то формула упрощается:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + (n - 2) \cdot \alpha_3}{n},$$

при этом $\alpha_2 = \varepsilon_2 \alpha_3$ и $\alpha_1 = \varepsilon_1 \alpha_3$, где ε_2 и ε_i – поправочный коэффициент ε_i .

Если $\alpha \ll 90^\circ$, то изменение теплоотдачи учитывается поправочным коэффициентом

$$\varepsilon_\varphi = \frac{\alpha_\varphi}{\alpha_{\varphi=90^\circ}}$$

Значения ϵ_{φ} берутся из графиков:

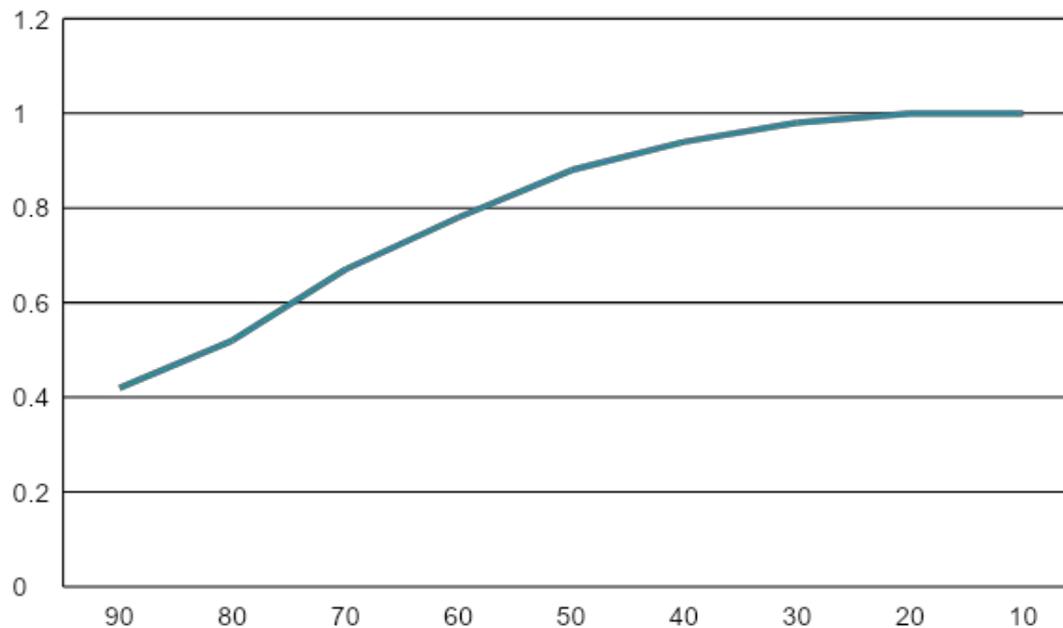


График зависимости теплоотдачи пучков труб от угла атаки

φ	90	80	70	60	50	40	30	20	10
ϵ_{φ}	1,0	1,0	0,98	0,94	0,88	0,78	0,67	0,52	0,42