

# Теплоотдача при свободной конвекции

Презентацию выполнил  
Студент 3 курса  
Специальность теплофизика  
Клевакин Игорь

# Общие сведения о свободной конвекции.

Свободное движение возникает за счет массовых сил, приложенных к частицам жидкости внутри системы.

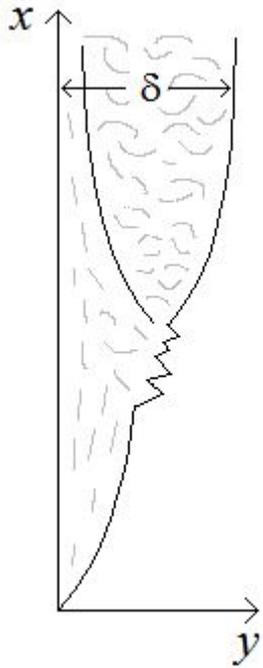
В уравнении движения  $\rho \frac{D\vec{w}}{dt} = \rho \cdot \vec{g} - \vec{\nabla} p + \mu \cdot \nabla^2 \vec{w}$  гравитационные силы учитываются чл  $\rho \cdot \vec{g}$ , имеющим размерность силы, отнесенной к единице объема.

Скорость свободного движения жидкости определим из закона сохранения механической энергии:

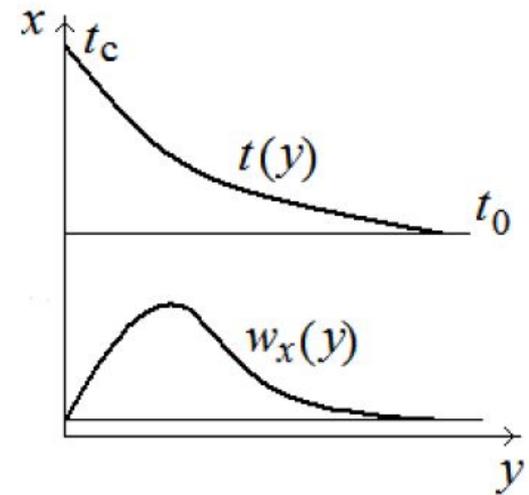
$$\frac{\rho w_0^2}{2} + \rho g h = \rho_0 g h$$

откуда следует, что характерная скорость свободной конвекции

$$w_0 = \sqrt{2 g h \frac{\rho_0 - \rho}{\rho}} .$$



Как и при вынужденной конвекции, свободное движение жидкости может быть как ламинарным, так и турбулентным.



Характер изменения температуры и скорости, типичный для пограничного слоя при свободной конвекции жидкости около тела, находящегося в большом объеме жидкости.

# Теплоотдача при свободной конвекции жидкости около вертикальной пластины или вертикальной трубы

Уравнения пограничного

слоя:

$$w_x \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + w_y \frac{\partial \vartheta}{\partial y} = a \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} ,$$

$$w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} = g\beta\vartheta + \nu \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} ,$$

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} = 0 .$$

Польгаузен преобразовал уравнения пограничного слоя к двум обыкновенным дифференциальным уравнениям, которые решаются численно. Из результатов расчета числа Нуссельта следует, что

$$\text{Nu}_x = F(\text{Pr}) \cdot \text{Ra}_x^{1/4} ,$$

где

$$F(\text{Pr}) = 0,6 \left( \frac{\text{Pr}}{1 + 2\text{Pr}^{1/2} + 2\text{Pr}} \right)^{1/4} .$$

Средний коэффициент теплоотдачи получаем из определения среднего:

$$\text{Nu}_l = \frac{4}{3} \text{Nu}_{x=l}.$$

Все значения физических свойств выбираются при температуре граничного слоя. При постоянном тепловом потоке  $Q_c = \text{const}$  коэффициент теплоотдачи выше на 10–15 %, чем при постоянной температуре стенки. Число Релея определяют по формуле:

$$\text{Ra}_{q,x} = \frac{g \beta q_c x^4}{\nu^2 \lambda} \text{Pr}.$$

Местный коэффициент теплоотдачи определяем из критериального уравнения:

$$\text{Nu}_x = 0,615 \left( \frac{\text{Pr}}{0,8 + \text{Pr}} \right)^{1/5} \cdot \text{Ra}_x^{1/5},$$

а средний коэффициент теплоотдачи – из критериального уравнения

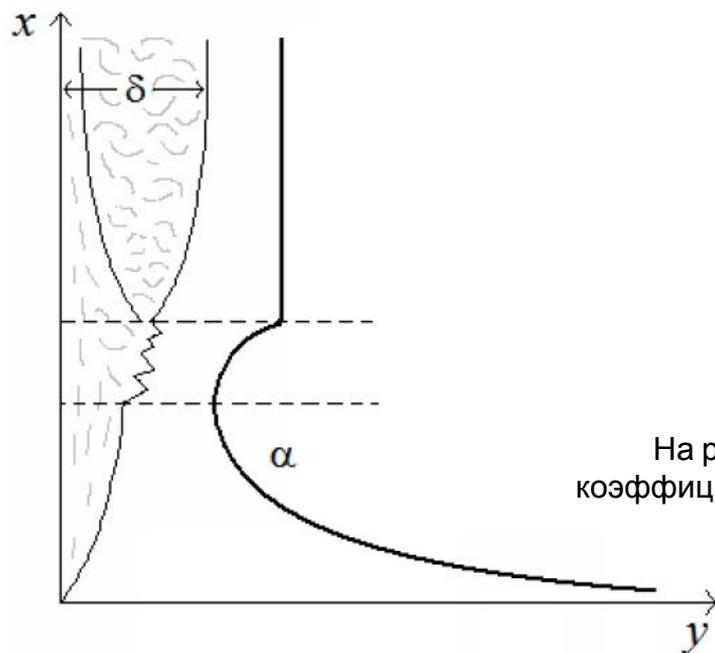
$$\text{Nu}_l = 1,22 \text{Nu}_{x=l}.$$

Для турбулентного пограничного слоя коэффициент теплоотдачи практически не зависит от граничных условий и не зависит от координаты  $x$ :

$$\text{Nu}_x = C \cdot \text{Ra}_x^{1/3}, \text{ где согласно опытным данным } C = 0,115 \dots 0,15.$$

Для практических расчетов необходимо определять средний коэффициент теплоотдачи. В случае, когда на пластине (трубе) существуют ламинарный, переходный и турбулентный режимы течения в пограничном слое, средний коэффициент теплоотдачи при постоянной температуре стенки определяется следующим образом:

$$\text{Nu}_l^{1/2} = 0,825 + \frac{0,387 \text{ Ra}^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{\text{Pr}} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} .$$



На рис. показаны толщина пограничного слоя и коэффициент теплоотдачи в зависимости от высоты стенки для восходящего потока жидкости.

**Спасибо за внимание.**