



**Физико-технический  
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



## Лекция 19. Конвективный теплообмен в однородной среде Основные положения

20 мая  
2016



Понятие конвективного теплообмена охватывает процесс теплообмена при движении жидкости или газа. Перенос теплоты осуществляется одновременно конвекцией и теплопроводностью. ***Под конвекцией теплоты понимают перенос теплоты при перемещении макрочастиц жидкости или газа в пространстве из области с одной температурой в область с другой.*** Конвекция возможна только в текучей среде, здесь перенос теплоты неразрывно связан с переносом самой среды.

Если в единицу времени через единицу контрольной поверхности нормально к ней проходит масса жидкости  $\rho \vec{\omega}$ ,  $[\text{кг}/(\text{м}^2 \times \text{с})]$ , где  $\vec{\omega}$  – скорость,  $\rho$  – плотность жидкости, то вместе с ней переносится энтальпия

$$\vec{q}_{\text{конв}} = \rho \vec{\omega} h \quad (1)$$



Конвекция теплоты всегда сопровождается теплопроводностью, т.к. при движении жидкости или газа неизбежно происходит соприкосновение отдельных частиц, имеющих различные температуры. В результате конвективный теплообмен описывают уравнением:

$$\vec{q} = \vec{q}_{\text{тпр}} + \vec{q}_{\text{конв}} = -\lambda \nabla t + \rho \omega h \quad (2)$$

Здесь  $\vec{q}$  является локальным (местным) значением плотности теплового потока за счет конвективного теплообмена. Первый член правой части уравнения описывает процесс переноса теплоты теплопроводностью, второй – конвекцией.

Конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью соприкасающегося с ним тела называется **конвективной теплоотдачей или теплоотдачей**.



Закон Ньютона-Рихмана:

$$dQ_c = \alpha(t_c - t_{жс})dF \quad (3)$$

Согласно закону тепловой поток  $dQ_c$  [Вт] от жидкости к элементу поверхности соприкасающегося тела  $dF$  (или от  $dF$  к жидкости) прямопропорционален  $dF$  и разности температур  $\Delta t = t_c - t_{жс}$  – температурный напор.

Коэффициент пропорциональности  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи. Он учитывает конкретные условия процесса теплоотдачи, влияющие на его интенсивность.

$$\alpha \equiv \frac{dQ_c}{(t_c - t_{жс})dF} = \frac{q_c}{t_c - t_{жс}} \quad (4)$$

Коэффициент теплоотдачи – плотность теплового потока  $q_c$  на границе жидкости (газа) и соприкасающегося тела, отнесенная к разности температур поверхности этого тела и окружающей среды.



Коэффициент теплоотдачи является функцией:

- формы и размеров тела;
- режима течения;
- скорости жидкости;
- температуры жидкости;
- физических параметров жидкости.

Силы, действующие на какой-либо элемент жидкости, можно разделить на массовые (объемные) и поверхностные.

Массовые силы – силы, приложенные ко всем частицам жидкости и обусловленные внешними силовыми полями (гравитационными, электрическими).

Поверхностные силы возникают вследствие действия окружающей жидкости или твердых тел; они приложены к поверхности жидкости – силы внешнего давления и силы трения.



Различают **свободную и вынужденную** конвекцию.

Свободная конвекция:

Движение в рассматриваемом объеме жидкости возникает за счет неоднородности в нем массовых сил.

Вынужденное движение рассматриваемого объема жидкости происходит под действием внешних поверхностных сил, приложенных на его границах, за счет предварительно сообщенной кинетической энергии (насос, вентилятор, ветер)



**Физико-технический  
институт**

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Лекция 19: Конвективный теплообмен в однородной среде

Основные определения

---

# Конвекция.

<http://videouroki.net>



Физические свойства жидкости, оказывающие наибольшее влияние на процесс теплообмена:

- Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ ;
- Удельная теплоемкость  $c_p$ ;
- Плотность  $\rho$ ;
- Коэффициент вязкости  $\mu$ .

Все реальные жидкости обладают вязкостью; между частицами или слоями движущимися с различными скоростями всегда возникает сила внутреннего трения, противодействующая движению. По закону Ньютона эта касательная сила  $s$  [Па] (отнесенная к единице поверхности), которая действует в любой точке потока в плоскости, ориентированной по течению, пропорциональна изменению скорости в направлении нормали к этой скорости

$$s = \mu \frac{d\omega}{dn} \quad (5)$$



Коэффициент  $\mu$  называется динамическим коэффициентом вязкости.

В уравнении гидродинамики и теплопередачи часто входит отношение вязкости  $\mu$  к плотности  $\rho$ , называемое кинематическим коэффициентом вязкости  $\nu$ :  $\nu = \mu / \rho$

Коэффициенты  $\mu$  и  $\nu$  существенно зависят от температуры.

На теплоотдачу оказывает влияние сжимаемость жидкостей.

Изотермической сжимаемостью или коэффициентом сжатия тела при постоянной температуре называют величину:

$$\varepsilon = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_t \quad (6)$$

представляющую собой относительное изменение плотности вещества при изменении давления.



