**Методические указания по выполнению практических работ по**

**дисциплине «Процессы и аппараты нефтегазопереработки».**

**Практическая работа № 2.5**

**Тема:** Конвективный теплообмен при вынужденном движении среды в каналах

**Практическая работа № 2.5**

**Тема:** Конвективный теплообмен при вынужденном движении среды в каналах

**КОНВЕКЦИЯ.**

***Конвекция*** - особый вид передачи теплоты, при непосредственном контакте движущейся жидкости или газа с твердой поверхностью при наличии между ними разности температур. Таким образом, конвекция непосредственно связана с движением среды, относительно поверхности, или наоборот.

**Общие сведения о конвекции**

Различают два вида конвекции (в соответствии с видами движения): ***естественную*** (свободную) и ***вынужденную***.

При передаче теплоты естественной конвекцией движущей силой среды является разность плотностей этой среды, вызванная разностью температур как в самой среде, так и между средой и поверхностью. Вследствие этого возникают так называемые подъемные (Архимедовы) силы.

Типичным примером такой конвекции является теплоотдача от наружных поверхностей печных стенок промышленных печей к окружающей воздушной среде.

Передача теплоты при вынужденной конвекции происходит в условиях, когда среда движется относительно поверхности под воздействием внешних сил, создаваемых побудителями движения (вентиляторами, компрессорами, насосами и т.д.).

Понятно, что при вынужденном движении скорости среды выше, чем при естественном движении, и поэтому в первом случае, как правило, может быть передано больше теплоты, чем во втором.

Вынужденная конвекция наблюдается при движении греющих газов в рабочем пространстве печей, в дымоотводящих каналах, в теплообменных аппаратах, а также при движении нагретых газа и воздуха по трубопроводам.

Независимо от вида конвекции тепловой поток, Вт, можно выразить простым уравнением, определяемым законом Ньютона:

𝑄к=𝛼к(𝑡г−𝑡п)∙𝐹,

где *αк* - коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м2-К);

*tг* - температура газовой среды, °С;

*tп* - температура поверхности, °С;

*F* - тепловоспринимающая поверхность, м2.

В случае, если передача теплоты осуществляется от поверхности, имеющей более высокую температуру, к среде, имеющей более низкую температуру, в формуле температуры *tг* и *tп* меняют местами.

В уравнении наиболее сложно рассчитать коэффициент конвективного теплообмена, поскольку он зависит от многих факторов, определяющих процесс движения и теплообмена.

Как правило, αк определяют экспериментально и на этой базе выводят эмпирические зависимости, связывающие коэффициент теплообмена с другими параметрами процесса движения и теплообмена. Большое значение в экспериментальных исследованиях по определению коэффициентов конвективного теплообмена имеет геометрическое оформление исследуемой системы.

Изменение геометрии системы приводит к изменению характера движения газовой среды и к нарушению установленных зависимостей. Вот почему не может быть выведено общих формул для определения коэффициентов конвективного теплообмена.

Наиболее часто встречающиеся в практике эксплуатации промышленных печей геометрические системы связаны с теплообменом в каналах и трубопроводах, а также с теплообменом при внешнем обтекании средой тел различной формы (пластины, цилиндра, шара, группы тел различной геометрии).

Для каждого конкретного случая выведены свои соотношения между αк и параметрами процессов движения и теплообмена, которые облечены в обобщенную критериальную форму для данной системы.

Для вынужденного турбулентного движения среды основными критериями теплообмена являются числа подобия Нуссельта *Nu* и Прандтля *Рr*, а критерием движения - число подобия Рейнольдса *Re*.

Эти числа подобия могут быть выражены следующим образом:

𝑁𝑢=$\frac{α\_{к}∙L}{λ\_{г}}$; $Pr\_{г}=\frac{ν\_{г}}{a\_{г}}$; 𝑅𝑒=$\frac{w\_{г}∙L}{ν\_{г}}$,

где

L - размер тела, м;

λг - коэффициент теплопроводности газовой среды Вт/(м\*К); νг - коэффициент кинематической вязкости, м2/с; аг - коэффициент температуропроводности газовой среды, м2/с; wг - скорость газовой среды, м/с.

Указанные числа подобия входят в критериальные уравнения, описывающие конвективный теплообмен в той или иной геометрическое системе.

Ниже приводятся данные по конвективному теплообмену при вынужденном движении среды в каналах и при внешнем обтекании пучка труб.

**Конвективный теплообмен при вынужденном движении среды в каналах**

Как уже отмечалось, такие геометрические системы встречаются при движении дымовых газов по каналам при удалении их из рабочего пространства печей, а также при движении нагретых газообразных топлив и воздуха по трубопроводам.

***Частные критериальные уравнения***

Здесь будут рассмотрены критериальные уравнения для вынужденного турбулентного течения среды, т.е. когда число Re превышает значение 2320, характеризующее переход от ламинарного течения к турбулентному.

По данным М. А.Михеева, при развитом турбулентном режиме (Re>104) расчетное уравнение конвективного теплообмена в критериальной форме имеет вид

𝑁𝑢=0,021∙𝑅𝑒0,8∙𝑃𝑟0,43∙(𝑃𝑟/𝑃𝑟ст)0,25,

где

Pr - число Прандтля при температуре газовой среды;

Prст - число Прандтля при температуре стенки.

**Задача № 1**

*Определить коэффициент конвективного теплообмена и плотность теплового потока при движении воздуха со скоростью WB = 10 м/с при нормальных условиях и температуре tB = 400°С по каналу, имеющему размеры поперечного сечения 1,5 к 1,5 м и температуру tCT = 800°С.*

*Для осуществления расчета необходимо иметь физические параметры воздуха, которые приведены в табл. 1*

*Таблица №1*

****

**Решение**

Прежде всего, определим режим течения среды, рассчитав число Рейнольдса, для чего найдем действительную скорость воздуха в канале:

𝑊в𝑡=𝑊в0∙(1+𝛽𝑡в)=10∙$\left(1+\frac{400}{273}\right)$=24,65 м/с,

𝑅𝑒=𝑊в𝑡∙𝐿/𝜈в𝑡=$\frac{24,65∙1,5}{(63,0∙10^{-6})}$=586718.

Значение числа Рейнольдса подтверждает, что в данном случае режим течения воздуха - развитый турбулентный.

Используя формулу и данные табл. 1, найдем число Нуссельта

𝑁𝑢=0,021∙𝑅𝑒0,8∙𝑃𝑟0,43∙(𝑃𝑟/𝑃𝑟ст)0,25,

𝑁𝑢=0,021∙5867180,8∙0,680,43∙$\left(\frac{0,68}{0,71}\right)^{0,25}$= 0,021∙41185,4∙0,847∙0,989=724.

При определяющем размере канала *L = 1,5* м и коэффициенте теплопроводности воздуха при температуре 400°С λ=5,21\*10-2 Вт/(м\*К) (см. табл. 1) определим коэффициент конвективного теплообмена в данной системе:

𝛼=𝑁𝑢∙$\frac{λ\_{В}}{L}$ =724∙$\frac{5,21∙10^{-2}}{1,5}$=25,15 Вт/м2∙К

Плотность конвективного теплового потока, передаваемого стенкой воздуху, составит

𝑄к=𝛼∙(𝑡ст−𝑡в)=25,15∙(800−400)=10060 Вт/м2.

Таблица №2

Варианты для решения Задачи №1

****