

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор

_____ О.Ю. Долматов

« _ » _____ 2015 г.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТЕПЛООБ- МЕННИКЕ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Процессы и аппараты химических производств» для студентов III курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики

Составитель **А.С. Кантаев, Ф.А. Ворошилов, И.Д. Брус**

Издательство

Томского политехнического университета

2015

УДК 66.045.123

ББК Л1/7 35

Изучение процесса теплопередачи в теплообменнике типа «труба в трубе»: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Процессы и аппараты химических производств» для студентов обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики / сост. Кантаев А.С., Ворошилов Ф.А., Брус И.Д. ; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 18 с.

УДК 66.045.123

ББК Л1/7 35

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов (№43) ФТИ «__» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой ХТРЭ,

доктор химических наук, доцент _____ *Р.И.Крайденко*

Председатель

учебно-методической комиссии _____

© Составление. ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2015

© Кантаев А.С., Ворошилов Ф.А., Брус И.Д. составление, 2015

1 ВВЕДЕНИЕ

Теплообмен между телами представляет собой обмен энергией между молекулами, атомами и свободными электронами; в результате теплообмена интенсивность движения частиц более нагретого тела снижается, а менее нагретого – возрастает. Перенос энергии в форме тепла, осуществляемый между телами с различной температурой, называется теплообменом. Движущей силой процесса является разность температур более нагретого и менее нагретого тел, при наличии которой тепло, по второму закону термодинамики, переходит от более нагретого к менее нагретому телу.

Процессы, скорость протекания которых определяется скоростью подвода или отвода теплоты называются тепловыми.

Аппараты, в которых осуществляются тепловые процессы, называются теплообменниками.

Элементы теплообменных устройств входят практически во все аппараты химических производств, связанных с процессами выпаривания, перегонной жидкости, адсорбцией, растворением, кристаллизацией, сушкой.

Теплообменные аппараты подразделяются в зависимости от формы поверхности, вида теплоносителей, способа подачи теплоты. Исходя из этого их можно классифицировать на поверхностные (рекуперативные), смесительные (контактные) и регенеративные.

1. В *поверхностных* теплообменниках теплоносители разделены стенкой, причем теплота передается через поверхность этой стенки.
2. В *смесительных* теплообменниках теплообмен происходит при непосредственном соприкосновении теплоносителей.
3. В *регенеративных* теплообменных процессах переноса теплоты от горячего теплоносителя к холодному разделяется во времени на два периода и происходит при попеременном нагревании и охлаждении насадки. Теплообменники этого типа часто применяют для регенерации теплоты отходящих газов.

Теплообменники применяются в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, атомной, холодильной, газовой и других отраслях промышленности, в энергетике и коммунальном хозяйстве. От условий применения зависит конструкция теплообменника. Существуют аппараты, в которых одновременно с процессами теплообмена протекают и смежные процессы, такие как фазовые превращения, например, конденсация, испарение, смешение. Такие аппараты имеют свои наименования: конденсаторы, испарители, градирни, конденсаторы смешения.

В теплообменниках с внутренними источниками энергии используется один теплоноситель, который отводит тепло, выделенное в самом аппарате. Примером являются ядерные реакторы, электронагреватели и другие устройства.

Теплообменные аппараты можно классифицировать по следующим признакам:

- **по конструкции** – аппараты, изготовленные из труб (кожухотрубчатые, «труба в трубе», оросительные, погружные змеевиковые, воздушного охлаждения); аппараты, поверхность теплообмена которых изготовлена из листового материала (пластинчатые, спиральные, сотовые); аппараты с поверхностью теплообмена, изготовленной из неметаллических материалов (графита, пластмасс, стекла и др.);
- **по назначению** – холодильники, подогреватели, испарители, конденсаторы;
- **по направлению движения теплоносителей** – прямоточные, противоточные, перекрестного тока и др.

Наиболее распространенными являются поверхностные теплообменники. Важной характеристикой при выборе теплообменного аппарата является поверхность теплообмена. Величина поверхности теплообмена определяется скоростью теплопередачи, зависящей от механизма передачи тепла – теплопроводностью, конвекцией, излучением и их сочетанием друг с другом.

Наибольшая поверхность требуется в прямоточных теплообменниках, наименьшая – в противоточных. Это связано с величиной движущей силы теплопередачи – средней разностью температур теплоносителей, при противоточном движении она максимальна, при прямоточном – минимальна.

Если в процессе теплообмена участвуют не два, а более теплоносителей, то схемы движения усложняются.

Теплота от одного теплоносителя к другому передается через поверхность стенок труб. Обычно нагреваемый теплоноситель подается снизу, а охлаждаемый теплоноситель – сверху вниз противотоком. Такое движение теплоносителей способствует более эффективному переносу теплоты, так как при этом происходит совпадение направления каждого теплоносителя с направлением, в котором стремятся двигаться данный теплоноситель под влиянием изменения его плотности при нагревании или охлаждении.

Интенсивность теплоотдачи зависит от скорости движения теплоносителя. Для увеличения скорости можно использовать теплообменник типа "труба в трубе" (рис. 1).

Поскольку сечение внутренней трубы и кольцевого зазора невелики, то в этих теплообменниках достигаются значительные скорости движения теплоносителей (до 3 м/с), что приводит к увеличению коэффициентов теплопередачи и тепловых нагрузок. Однако двухтрубные теплообменники более громоздки, чем кожухотрубчатые, на их изготовление требуется больше металла на единицу поверхности теплообмена.

Двухтрубные теплообменники применяют для процессов со сравнительно малыми поверхностями теплообмена. Аппараты такого типа могут быть соединены как последовательно, так и параллельно, таким образом, обеспечивая необходимую тепловую мощность и эффективность теплообмена.

К недостаткам теплообменников этого типа следует отнести громоздкость, металлоемкость, большое гидравлическое сопротивление.

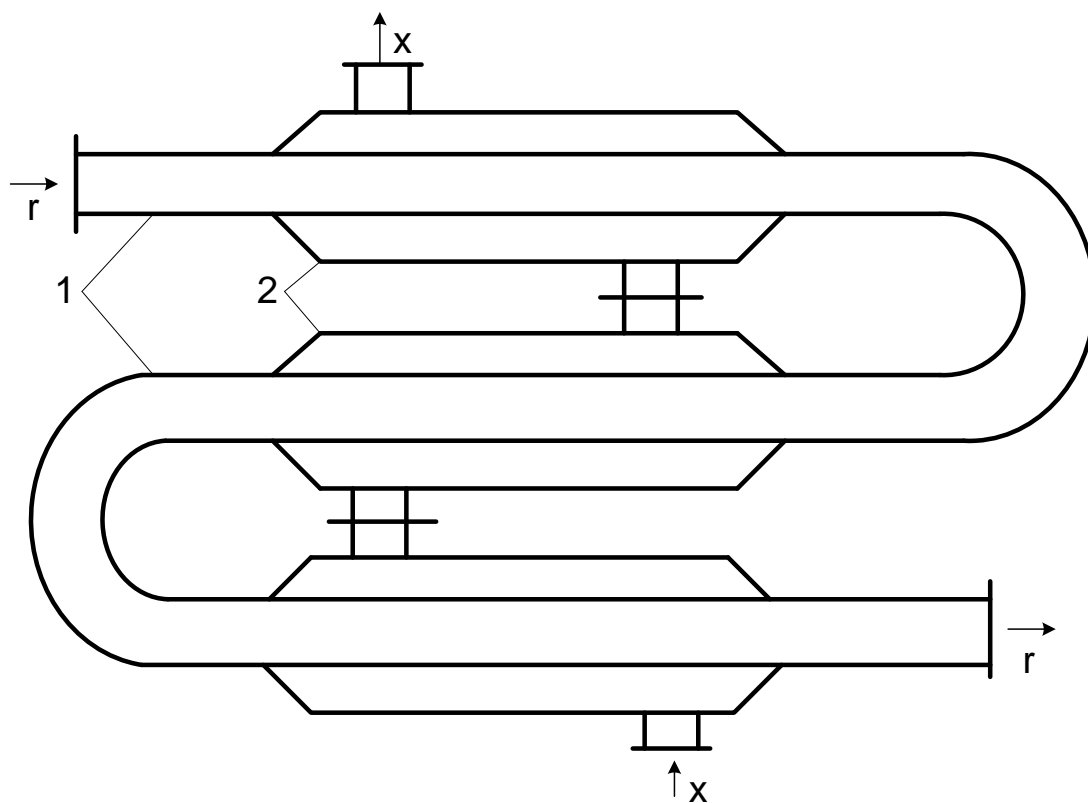


Рис. 1 Двухтрубчатый теплообменник:
1 - внутренние трубы, 2 - наружные трубы

2. ОСНОВЫ РАСЧЕТА

При расчете теплообменного аппарата их тепловой расчет сводится к определению необходимой поверхности теплообмена F при известных расходах, начальной и конечной температурах теплоносителей.

Поверхность теплообмена определяют из основного уравнения теплопередачи:

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{cp}}; \quad (1)$$

где: Q - тепловая нагрузка (тепло, принятое холодным теплоносителем), рассчитывается из уравнения теплового баланса, Вт,

K - коэффициент теплопередачи,

F - поверхность теплопередачи,

Δt_{cp} - температурный напор (средняя разность температур между холодным и горячим теплоносителем).

Среднюю движущую силу Δt_{cp} определяют по уравнению:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_6 / \Delta t_m)}; \quad (2)$$

с учетом относительного движения теплоносителей. Если при тепловых расчетах теплообменников необходимо знать среднюю температуру теплоносителя, то в общем случае ее можно определить из следующего выражения:

$$t_{cp} = \frac{1}{F} \int_0^F t dF; \quad (3)$$

Если температура вдоль поверхности меняется не сильно, то без существенной ошибки среднюю температуру теплоносителя можно определять как среднеарифметическую между начальной и конечной температурами этого теплоносителя.

Для определения коэффициента теплопередачи K необходимо предварительно рассчитать коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 по обе стороны стенки, разделяющей теплоносители а также термические сопротивления стенки и загрязнений, которые обычно образуются на ней.

Физический смысл коэффициента теплопередачи K - термическая проводимость того пути, по которому тепло передается от горячего теплоносителя к холодному.

Значение коэффициента K определяют по уравнению:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4)$$

$\frac{1}{\alpha_1}$ – сопротивление при переходе тепла от основной массы (потока) первого теплоносителя к поверхности трубы.

$\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$ – термическое сопротивление стенки трубы.

$\frac{1}{\alpha_2}$ – термическое сопротивление ламинарного слоя при переходе тепла от наружной стенки трубы к основной массе второго теплоносителя.

Так как тепловой поток проходит все сопротивления последовательно общее сопротивление системы равно сумме отдельных сопротивлений. Проводимость есть величина, обратная сопротивлению:

$$K = \frac{1}{R_{общ}}$$

На проводимость также влияют:

- 1) термическое сопротивление слоя загрязнений на стенке трубы (накипь, ржавчина) со стороны первого теплоносителя
- 2) термическое сопротивление загрязнений на стенке со стороны второго теплоносителя

$$\sum r_{загр} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2};$$

где: δ_i - толщина загрязнений;

λ_i - коэффициент теплопроводности загрязнений (по обе стороны стенки).

Одной из главных задач при теплообмене является расчет коэффициентов теплоотдачи. Таким образом, коэффициент теплоотдачи является функцией многих переменных, и получить аналитическую зависимость для определения α очень сложно. В общем случае зависимость для расчета скорости процесса теплоотдачи получают преобразованием дифференциальных уравнений, описывающих этот процесс, методом теории подобия.

$$\frac{\alpha l}{\lambda} = Nu$$

$$Nu = f(Gr, Pr, Re \dots)$$

Теплопередача между теплоносителями происходит через стенку внутренней (теплообменной) трубы на участке контакта теплоносителей длиной l для каждой из секций.

Судить о характере изотермического движения жидкости в канале можно по величине критерия Рейнольдса, физических свойств теплоносителя, условий обтекания теплопередающей поверхности.

$$\text{Критерий Рейнольдса} \quad Re = \frac{\omega \cdot d_3 \cdot \rho}{\mu} \quad (5)$$

$$\text{Критерий Нуссельта} \quad Nu = \frac{\alpha \cdot d_3}{\lambda} \quad (6)$$

$$\text{Критерий Грасгофа} \quad Gr = \frac{d_3^3 \cdot \beta \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \Delta t}{\mu^2} \quad (7)$$

$$\text{Критерий Прандтля} \quad Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} \quad (8)$$

де : ω – скорость движения теплоносителя, м/с²;

d_3 – эквивалентный диаметр сечения потока, м.

ρ – плотность теплоносителя, кг/м³;

μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

β – коэффициент объемного расширения теплоносителя, 1/град²;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К);

Δt – разность между температурой стенки и средней температурой жидкости, °С;

l – длина теплообменника, м

а) при ламинарном движении теплоносителя в каналах ($Re < 2300$)

$$Nu = 0,15 \cdot \varepsilon_e \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \quad (9)$$

б) при турбулентном движении ($Re > 10000$)

$$Nu = 0,021 \varepsilon_e \cdot Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \quad (10)$$

в) при переходном движении ($2300 < Re < 10000$)

$$\frac{Nu}{Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}} = f(Re) \quad (11)$$

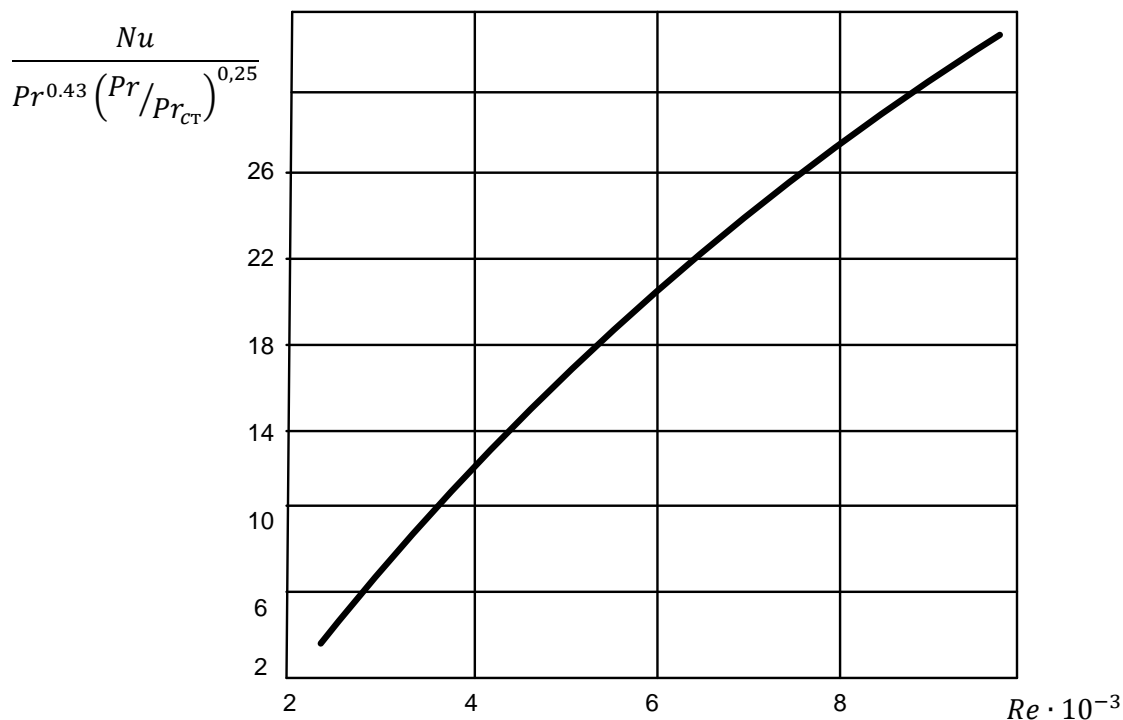


Рис.2 – Зависимость $\frac{Nu}{Pr^{0.43} \left(\frac{Pr}{Pr_{cr}}\right)^{0.25}}$ от критерия Рейнольдса в переходном режиме

ε_e – коэффициент гидродинамической стабилизации потока

$$\varepsilon_e = f\left(Re, l/d_3\right),$$

$$\text{при } \frac{\lambda}{d_3} \geq 50 \quad \varepsilon_e = 1$$

В общем случае средняя разность температур равна разности средних температур теплоносителей.

$$\Delta t_{cp} = t_{cp1} - t_{cp2} \quad (12)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2} \quad (13)$$

Обычно при противотоке среднюю температуру теплоносителя с меньшим перепадом температур по длине аппарата определять как среднеарифметическую (рис. 3), а среднюю температуру другого теплоносителя находить по известной величине Δt_{cp} по уравнению 12.

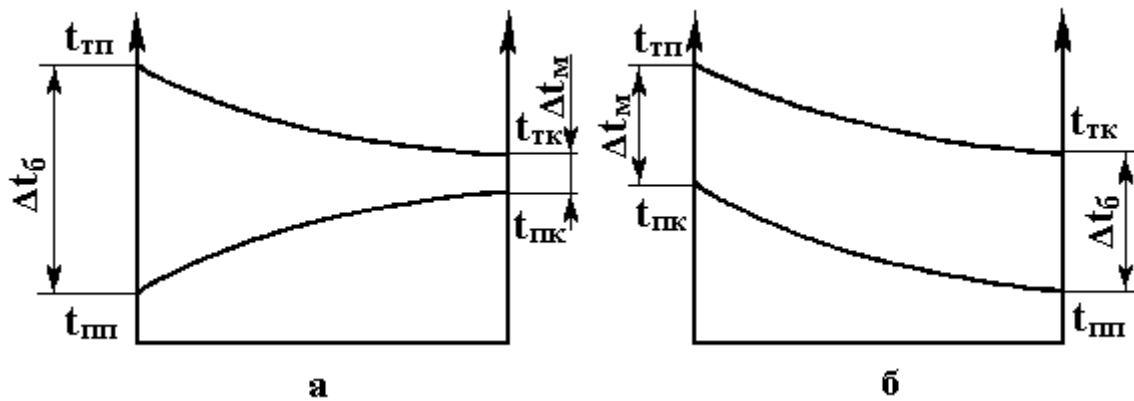


Рис 3 – Схема движения теплоносителей:
а) прямоток; б) противоток

$$\Delta t^r = t_1^r - t_2^r$$

$$\Delta t^x = t_1^x - t_2^x$$

Если $\Delta t^r < \Delta t^x$, то

$$t_{\text{ср}}^r = \frac{t_1^r + t_2^r}{2} \quad (14)$$

$$t_{\text{ср}}^x = t_{\text{ср}}^r - \Delta t_{\text{ср}}$$

Если $\Delta t^x < \Delta t^r$, то

$$t_{\text{ср}}^x = \frac{t_1^x + t_2^x}{2} \quad (15)$$

$$t_{\text{ср}}^r = t_{\text{ср}}^x + \Delta t_{\text{ср}}$$

Температуру стенки находят методом последовательных приближений: задавшись произвольно этой температурой, определяют α , рассчитывают K по формуле 4, а затем по приведенным ниже формулам проверяют сходимость расчетной величины $t_{\text{ст}}$

Расчет $t_{\text{ст}1}$ и $t_{\text{ст}2}$ производят исходя из уравнений теплоотдачи и теплопередачи.

Количество тепла, отдаваемое горячим теплоносителем

$$Q = \alpha_1 F (t_1 - t_{\text{ст}1})$$

где F – поверхность теплообмена; t_1 – температура горячего теплоносителя.

Количество тепла, получаемое холодным теплоносителем

$$Q = \alpha_3 F (t_{ct2} - t_2)$$

t_2 – температура холодного теплоносителя.

Находим

$$t_{ct1} = t_1 - \frac{Q}{\alpha_1 F} \quad (16)$$

$$t_{ct2} = t_2 - \frac{Q}{\alpha_2 F} \quad (17)$$

Согласно уравнению теплоотдачи

$$Q = KF\Delta t_{cp}$$

Подставляя значение Q из уравнения теплоотдачи в уравнения 16 и 17 и сокращая F получается

$$t_{ct1} = t_1 - \frac{K\Delta t_{cp}}{\alpha_1} \quad (18)$$

$$t_{ct2} = t_2 + \frac{K\Delta t_{cp}}{\alpha_2} \quad (19)$$

В качестве первого приближения принимается, что

$$t_{ct}^r = t_{ct}^x = \frac{t_{cp}^x + t_{cp}^r}{2} \quad (20)$$

Скорость движения теплоносителя определяется из уравнения расхода:

$$V = \omega \cdot f \quad (21)$$

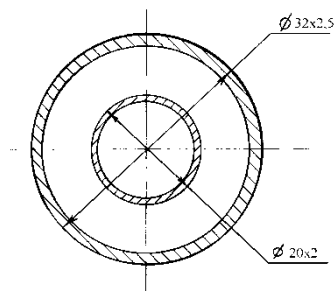
Эквивалентный диаметр потока теплоносителя рассчитывается по уравнению:

$$d_э = \frac{4f}{n} \quad (22)$$

где:

f – площадь поперечного сечения, m^2 ;

n – общий смоченный периметр сечения потока, m ;



ω – скорость движения теплоносителя, м/с.

3. Цель работы

1. ознакомиться со схемой установки и конструкцией теплообменника типа «труба в трубе»;
2. найти опытные и расчетные значения коэффициента теплопередачи;
3. проанализировать влияние различных факторов на коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи.

4. Схема установки

Схема установки приведена на рис 4.

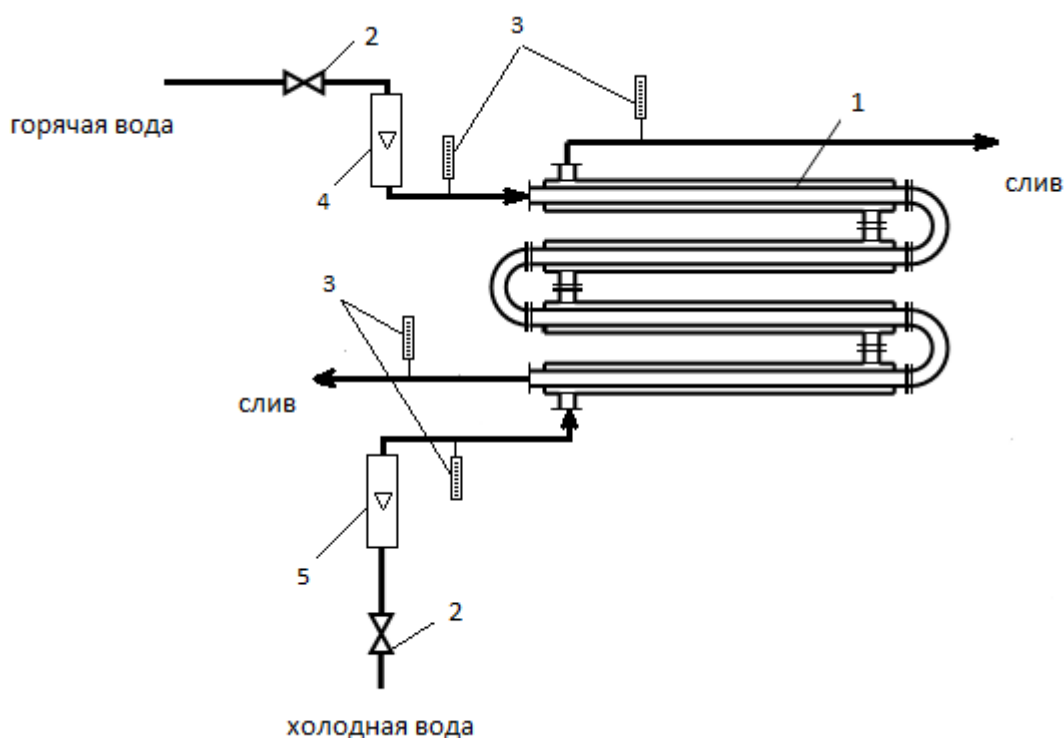


Рис. 4 – Схема установки

1 – теплообменника; 2 - вентили подачи горячей и холодной воды; 3 – термометры;
4 - ротаметр горячей воды; 5 - ротаметр холодной воды

Основным аппаратом установки является теплообменник «труба в трубе», состоящий из четырёх последовательно соединённых элементов. Каждый элемент образован двумя соосными трубами, изготовленными из нержавеющей стали. Теплообмен в аппарате осуществляется между горячей водой и холодной водой.

Отключение теплообменника осуществляется закрытием вентилей холодной и горячей воды.

6. Обработка опытных данных

1. Определение тепловой нагрузки и расходов теплоносителей.

Расход горячего теплоносителя определяется из уравнения теплового баланса:

$$Q = G_1 c_{p1} (t_1^r - t_2^r) = G_2 c_{p2} (t_2^x - t_1^x)$$

где: Q – тепловая нагрузка (количество тепла, передаваемое через границу раздела фаз за единицу времени);

G_1 и G_2 – массовые расходы теплоносителей, кг/с,

c_{p1}, c_{p2} – теплоемкость теплоносителей, Дж/(кг К),

t_1^r, t_2^r – температура горячего теплоносителя на входе и выходе теплообменника, °С

t_1^x, t_2^x – температуры холодного теплоносителя на входе и выходе теплообменника, °С

Определяется расход холодного теплоносителя по формуле:

$$V = (8.7 + 0.565z) \cdot 10^{-6}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где : z – число делений шкалы ротаметра.

2. Определение средней движущей силы и средних температур теплоносителей.

Средняя движущая сила Δt_{cp} и средние температуры теплоносителей t_{cp}^x и t_{cp}^r рассчитываются на основе температурной схемы по уравнениям (2), (13), (14), (15).

3. Определение теплофизических параметров.

Теплофизические параметры ($\rho, c_p, \mu, \lambda, \beta$) теплоносителей, найденные при средних температурах (приложение 1), заполняются в таблицу 2.

Таблица 2

Параметр	Горячий теплоноситель ($t_{cp}^g =$)	Холодный теплоноситель ($t_{cp}^x =$)
ρ [кг/м ³]		
c_p [Дж/(кг·К)]		
λ [Вт/(м·К)]		
μ [Па·с]		
β [град ⁻¹]		

4. Определение расчетных значений коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.

4.1 Определение режимов движения.

Скорость и эквивалентный диаметр, используемые при расчете критерия Рейнольдса (5), рассчитывается по уравнениям (21) и (22).

4.2 Определение приближенных значений коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи.

В зависимости от режима движения теплоносителя выбирается расчетная зависимость для определения критерия Нуссельта (9), (10), (11).

Отношение (Pr/Pr_{cm}) учитывает различие поля температур, вязкости и толщины пограничного слоя при нагревании и охлаждении теплоносителя у стенки. При нагревании жидкости тепловой поток направлен от стенки ($Pr/Pr_{cm} > 1$), при охлаждении – к стенке ($Pr/Pr_{cm} < 1$). Температуры стенок рассчитываются по уравнению (20).

Из полученных значений критерия Нуссельта определяются коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 (6) и коэффициенты теплопередачи K (4).

4.3 Уточненный расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.

Уточненный расчет коэффициентов теплоотдачи осуществляется по методу последовательных приближений, основной целью которого является определение истинного профиля температур, в частности, определение температур стенок.

Из уравнений (18) и (19) с использованием полученных значений α_1 , α_2 и K рассчитываются температуры стенок t_{cm}^{z1} и t_{cm}^{x1} . Далее расчет ведется по пункту 4.2 с получением α_1^1 и α_2^1 и K^1 .

Если значение K^1 отличается от K менее, чем на 2%, то данный этап теплового расчета заканчивается, если же K^1 отличается от K более, чем на 2 %, то расчет повторяется по пунктам 4.3 и 4.2 и т.д.

Полученные в последнем вычислении значения α_1^i , α_2^i и K^i принимаются за окончательные.

7. Определение расчетной поверхности теплопередачи

Поверхность теплопередачи F определяется из основного уравнения теплопередачи (1), где Q - действительная тепловая нагрузка, рассчитанная по уравнению теплового баланса.

Полученное значение поверхности теплопередачи F_p сравнивается с действительной поверхностью F_q

$$F_q = \pi dLn, \text{ м}^2$$

где: d – диаметр теплопередающей трубы со стороны теплоносителя с меньшим коэффициентом теплоотдачи, м,

L – длина одной секции теплообменника, м,

n – число секций теплообменника.

Результаты вычислений сводятся в таблицу 3

Ошибка эксперимента определяется по формуле

$$\Delta = \frac{|F_q - F|}{F}$$

Результаты вычислений

№ п/п	Параметры	Обозначение	Ед. изм.	Значение
1	Тепловая нагрузка	Q	$Вт$	
2	Расход горячего теплоносителя	G_1	$кг/с$	
3	Средняя движущая сила	Δt_{cp}	$^{\circ}C$	
4	Средняя температура холодного теплоносителя	t_{cp}^x	$^{\circ}C$	
5	Средняя температура горячего теплоносителя	t_{cp}^g	$^{\circ}C$	
6	Скорость холодного теплоносителя	ω_x	$м/с$	
7	Скорость горячего теплоносителя	ω_g	$м/с$	
8	Критерий Рейнольдса холодного теплоносителя	Re_x	-	
9	Критерий Рейнольдса горячего теплоносителя	Re_g	-	
10	Коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке	α_1	$\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	
11	Коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному теплоносителю	α_2	$\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	
12	Коэффициент теплопередачи	K	$\frac{Вт}{м^2 \cdot K}$	
13	Расчетная поверхность теплопередачи	F_p	$м^2$	
14	Действительная поверхность	F_{∂}	$м^2$	
15	Ошибка эксперимента	Δ	-	

Контрольные вопросы

1. Какие процессы называются теплообменными?
2. Способы передачи тепла.
3. Дайте определения понятий теплоотдачи и теплопередачи, запишите уравнения, описывающие эти процессы, дайте определения величин, входящих в уравнения.
4. Теплофизические свойства теплоносителей.
5. Запишите и поясните уравнения теплового баланса.
6. Поясните схему лабораторной установки и конструкцию теплообменника типа «труба в трубе».
7. От чего зависят коэффициенты теплопередачи, как их можно увеличить в данном теплообменнике.
8. Уравнения теплопроводности одно- и многослойных, плоских и цилиндрических стенок.
9. Регенеративные и смешительные теплообменники.
10. Способы интенсификации теплообменных процессов.

Литература

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973-752 с.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. М.: Химия, 1995. – 400 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - М.: Химия, 1976.-560с.

Приложение 1

Физические свойства воды (на линии насыщения)

$P,$ $\frac{\text{кз}}{\text{см}^2}$	$t,$ [°C]	$\rho,$ $\frac{\text{кз}}{\text{м}^3}$	$c_p \cdot 10^{-3},$ $\frac{\text{Дж}}{\text{кз} \cdot \text{К}}$	$\lambda \cdot 10^2$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\mu \cdot 10^6$ [Па·с]	$\beta \cdot 10^4$ град^{-2}	Pr
1	0	1000	4,23	55,1	1790	-0,63	13,7
1	10	1000	4,19	57,5	1910	0,70	9,52
1	20	998	4,19	59,9	1000	1,82	7,02
1	30	996	4,18	61,8	804	3,21	5,42
1	40	992	4,18	53,4	657	3,87	4,31
1	50	988	4,18	64,8	549	4,49	3,54
1	60	983	4,18	65,9	470	5,11	2,98
1	70	978	4,19	66,8	406	5,70	2,55
1	80	972	4,19	67,5	355	6,92	2,21
1	90	965	4,19	68,0	315	6,95	1,95
1,03	100	958	4,23	68,3	282	7,5	1,75
1,46	110	951	4,23	68,5	256	8,0	1,58

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов III курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики

Составитель
доцент, к.т.н. А.С. Кантаев
доцент, к.т.н. Ф.А. Ворошилов
доцент, к.т.н. И.Д. Брус

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 01.03.2015. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.

Заказ 1153 Тираж 10 экз.



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO
9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru