

Кафедра химической технологии и промышленной экологии

Изучение процесса теплообмена в теплообменнике «труба в трубе»

Методические указания к лабораторной работе
Пробный тираж



Самара 2022

Составитель: В.В. ФИЛИППОВ

УДК 660.2(07)

ББК 35.11я73

Изучение процесса теплообмена в теплообменнике «труба в трубе». Метод. указ. к лабораторной работе по курсу «Процессы и аппараты химических производств». Изд. 3-е, переработанное и дополненное. / Самар. гос. тех. ун-т; Сост. В.В. Филиппов. Самара, 2022. 22 с.

Электронный вариант методических указаний размещён на сайте <http://filippov.samgtu.ru/>

Печатается по решению методического совета
нефтехнологического факультета

Введение

Теплообменный аппарат или попросту теплообменник — одно из немногих технических устройств, хорошо известных даже весьма далеким от техники людям. В самом деле, в каждой квартире под подоконником установлены радиаторы отопления — массивные, ошестинившиеся ребрами чугунные трубы, или более современные, более изящные их аналоги. Это теплообменные аппараты, в которых теплоноситель — горячая вода — отдает через металлическую стенку теплоту воздуху наших квартир.

Радиаторы отопления — самые распространенные и самые известные, но, пожалуй, не самые ответственные теплообменники. В конце концов, если они по какой-то причине и откажут, день-другой вполне можно перебиться: включить электрические обогреватели или, в крайнем случае, потеплее одеться. А в промышленности редкое производство может обойтись без надежно работающих теплообменников.

Только в химической индустрии теплообменные устройства составляют *свыше трети массы и стоимости* всего оборудования. Химические реакции идут при определенной температуре; от температуры зависят скорость процессов, активность катализаторов, полнота превращений, чистота продуктов. В одном случае потоки необходимо нагревать, в другом — охлаждать, в третьем — утилизировать неиспользованное тепло. И везде требуются теплообменники — разных размеров, разных конструкций. Они требуются не только в нефтехимии и нефтепереработке, но и в тепловой и атомной энергетике, в металлургии, пищевой промышленности. И хотя в теплообменниках не происходят превращения веществ, эти аппараты относятся к основным — к тем, что составляют фундамент аппаратурного оформления технологии.

Есть ещё одна область техники, где теплообмен имеет решающее значение. Это транспорт. Любое транспортное средство — автомобиль, трактор, морское судно, самолёт, космический корабль —

немыслимо без теплообменной аппаратуры (радиаторов). Громоздкий теплообменный аппарат — это лишний вес и объем, перерасход дефицитных материалов. Плохо организованный теплообмен приводит к перегреву двигателей, а порою и к серьезным авариям. Если в химии от теплообменников зависят скорость и полнота протекания процессов, то на транспорте — надежность, долговечность, экономичность двигателей.

Великое множество придуманных за сто лет теплообменных аппаратов можно свести к двум основным конструкциям:

- теплообменники, в которых теплопередающая поверхность образована трубами (трубчатые);
- теплообменники, в которых теплопередающая поверхность образована листовой поверхностью (пластинчатые, спиральные и др.).

Среди аппаратов с трубчатой поверхностью очень часто, особенно в нефтепереработке, применяются теплообменники «**труба в трубе**». Упрощённая схема такого аппарата показана на рис. 1.

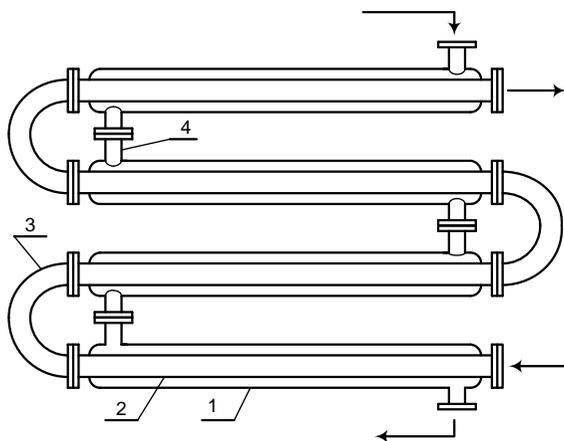


Рис. 1. Теплообменник типа «труба в трубе»

1 – наружная труба; 2 – внутренняя труба; 3 - соединительные колена («калачи»); 4 – соединительные патрубки с фланцами.

Основы теории теплопередачи

Есть поток горячего вещества (горячий теплоноситель), от которого требуется отвести теплоту, и есть поток холодного вещества (холодный теплоноситель), к которому необходимо теплоту подвести. Между ними организуется процесс теплообмена (теплопередачи).

Количество теплоты, переходящее в единицу времени от одного теплоносителя к другому, называют *тепловым потоком* Q , Дж/с или Вт.

Величиной теплового потока Q мы управлять практически не можем, её значение определяется требованиями технологии.

Переход теплоты от одного теплоносителя к другому возможен только при наличии разности температур Δt_{cp} между ними. Эта разность температур является *движущей силой* процесса теплопередачи. На её значение мы можем влиять, если есть выбор температуры второго потока, который или забирает теплоту от горячего потока, или подводит её к холодному. Однако в большинстве случаев все четыре температуры (по две на каждый поток) заданы технологией. Поэтому на величину движущей силы проектировщик может влиять мало.

Основным параметром теплообменного аппарата, в котором будет протекать процесс, является площадь поверхности теплопередачи F , m^2 . Её значение определяет массу аппарата, а значит – его стоимость.

Связь между названными величинами устанавливает ***основное уравнение теплопередачи***

$$Q = KF\Delta t_{cp} \quad (1)$$

В этом уравнении появилась новая величина K . Это *коэффициент теплопередачи*. Его размерность $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Коэффициент теплопередачи K является *кинетической* характеристикой процесса. Он показывает, насколько эффективно или, наоборот, неэффективно, организован процесс теплообмена. Можно сказать, что коэффициент теплопередачи является важнейшей характеристикой процесса организации передачи теплоты. И усилия учёных, конструкторов и инженеров направлены на то, чтобы сделать величину коэффициента теплопередачи как можно больше. В отличие от значений Q и $\Delta t_{\text{ср}}$, на коэффициент теплопередачи K мы можем влиять в довольно широких пределах. Давно известно, что турбулизация потока повышает интенсивность теплообмена. Поэтому конструкторы поток стараются закрутить, создать внутри него турбулентные вихри. Тут полет конструкторской фантазии не знает предела. Трубы заворачивают змейкой, встраивают в них шнеки или спирали, выдавливают снаружи и внутри ребра, покрывают трубы резьбой, делают их поверхности шероховатыми. Все перечисленные (и не перечисленные) ухищрения преследуют цель завихрить поток текущего по трубам или снаружи труб теплоносителя, турбулизовать его и тем самым интенсифицировать теплообмен¹. Иногда это получается лучше, иногда хуже, но всегда — ценой значительного роста гидравлического сопротивления: в 10 – 12 раз – всего при двух- трех-, редко пятикратном увеличении теплоотдачи. Поэтому перед проектировщиком встаёт довольно сложная задача: не просто выбрать типовой теплообменник, но найти такое решение, при котором будут минимизированы капитальные и эксплуатационные затраты.

¹ Смело можно утверждать, что в процессах теплопередачи турбулентное движение – наш «друг», а ламинарное – «враг». В других же процессах, например, искусственного кровообращения, ситуация меняется на противоположную – турбулентное движение становится «врагом».

Приведённое выше основное уравнение теплопередачи позволяет определить основной параметр теплообменного аппарата – величину площади поверхности теплопередачи F

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{\text{ср}}} \quad (2)$$

Тепловую нагрузку на теплообменник Q можно найти по разности энтальпий теплоносителей на входе и выходе из аппарата. Без учёта потерь теплоты в окружающую среду можно утверждать, что тепловой поток, отданный горячим теплоносителем Q_1 , равен тепловому потоку, полученному холодным теплоносителем Q_2 . Для случая, когда оба теплоносителя не меняют агрегатного состояния, значения Q_1 и Q_2 легко определить по классическим уравнениям, известным из курса физики

$$Q_1 = G_1 c_1 (t_{1\text{н}} - t_{1\text{к}}) \quad (3)$$

$$Q_2 = G_2 c_2 (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}}) \quad (4)$$

где G_1 и G_2 – массовые расходы горячего (1) и холодного (2) потоков, кг/с; c_1 и c_2 – удельные теплоёмкости горячего и холодного потоков, Дж/(кг · К); $t_{1\text{н}}$ и $t_{1\text{к}}$ – начальная и конечная температуры горячего потока; $t_{2\text{н}}$ и $t_{2\text{к}}$ – начальная и конечная температуры холодного потока.

Следующей величиной, необходимой для определения поверхности теплопередачи F , является средняя разность температур между потоками $\Delta t_{\text{ср}}$. Нахождение этой величины зависит от способа организации теплообмена: потоки можно направить или в одном направлении (прямоток), или навстречу друг другу (противоток)².

² Кроме прямотока и противотока существуют другие способы организации теплообмена, которые здесь не рассматриваются.

Для расчёта $\Delta t_{\text{ср}}$ необходимо знать разности температур на концах аппарата. Нахождение этих разностей иллюстрирует рис. 2.

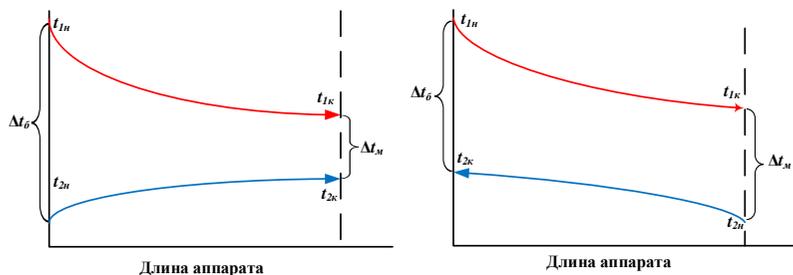


Рис. 2. Нахождение разностей температур при прямотоке и противотоке

Одна из найденных разностей температур будет больше другой. Поэтому одну называют большей, а другую – меньшей. Для прямотока большей будет разность на входе в аппарат, для противотока это заранее неизвестно. Но и для прямотока, и для противотока расчёт средней разности температур находится по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (5)$$

где $\Delta t_{\text{б}}$ – большая разность температур, $\Delta t_{\text{м}}$ – меньшая разность температур.

Третья величина, необходимая для определения поверхности теплообмена F – коэффициент теплопередачи K . Теплопередача – это переход теплоты от одного потока к другому через разделяющую их стенку. Этот процесс складывается из трёх стадий.

Первая стадия – это переход теплоты от горячего потока к стенке теплообменника. Эту стадию называют теплоотдачей. Его интенсивность характеризует коэффициент теплоотдачи α_1 .

Коэффициент теплоотдачи измеряется в тех же единицах, что и коэффициент теплопередачи – $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вторая стадия – это переход теплоты через стенку, разделяющую потоки. Интенсивность этой стадии зависит от толщины этой стенки $\delta_{\text{ст}}$, коэффициента теплопроводности материала, из которого эта стенка изготовлена $\lambda_{\text{ст}}$, и – самое главное – от загрязнений, которые рано или поздно появляются на стенке.

Третья стадия аналогична первой – это переход теплоты от стенки в ядро второго потока. Это тоже теплоотдача, её интенсивность определяется коэффициентом теплоотдачи α_2 .

Между коэффициентами теплопередачи и теплоотдачи существует связь, которая описывается соотношением

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (6)$$

В процессе эксплуатации на теплопередающей поверхности возможно отложение различного рода загрязнений (ржавчина, парафиновые соединения и т.д.), которые ухудшат работу теплообменника. Поэтому в практике проектирования принято в формулу (6) вводить соответствующие слагаемые, учитывающие уменьшение со временем интенсивности передачи теплоты

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{r_{\text{загр1}}} + \frac{1}{r_{\text{загр2}}}}, \quad (6a)$$

где $r_{\text{загр1}}$ и $r_{\text{загр2}}$ – термические сопротивления со стороны первого (горячего) и второго (холодного) потоков, их значения берутся из справочной литературы, например, [1, с.531; 2, с.21; 3, с.19].

Коэффициент теплоотдачи зависит от большого числа переменных – плотности, вязкости, теплоёмкости, теплопроводности, скорости, геометрии потока, режима его движения. Это плохо, так как затрудняет расчёт этого параметра передачи теплоты. Но в инженерных расчётах довольно часто приходится находить величину, зависящую от большого числа переменных. На помощь в таких случаях приходит **теория подобия**, с помощью которой множество влияющих на процесс параметров можно заменить некими **безразмерными комплексами (критериями)**, составленными из этих параметров. В результате число переменных резко сокращается. В нашем случае множество названных переменных заменяется всего тремя критериями:

1. Хорошо нам знакомым критерием Рейнольдса, численное значение которого определяет гидродинамическую обстановку в потоке теплоносителя

$$\text{Re} = \frac{wd_0\rho}{\mu}, \quad (7)$$

2. Критерием Прандтля, представляющим собой комплекс физико-химических свойств вещества потока

$$\text{Pr} = \frac{c\mu}{\lambda}, \quad (8)$$

3. И критерием Нуссельта, в который входит интересующая нас величина коэффициента теплоотдачи

$$\text{Nu} = \frac{\alpha d_0}{\lambda}, \quad (9)$$

где w – линейная средняя скорость потока, м/с; μ – динамический коэффициент вязкости, Па·с; d_3 – эквивалентный диаметр, определяющий геометрию потока.

В результате обобщения результатов опытов на моделях между названными критериями устанавливается связь³

$$Nu = A \cdot Re^m Pr^n, \quad (10)$$

Конкретный вид такого уравнения (т.е. в пригодный для инженерных расчётов) приводится в литературе по теплопередаче, например, [1, с. 152-168; 2, с. 18-20].

В нашей лабораторной работе один поток движется по трубе, а второй – по кольцевому каналу. При движении жидкости внутри труб хорошие результаты дают формулы:

для турбулентного движения, когда $Re > 10000$

$$Nu = 0,023 Re^{0.8} Pr^{0.43}; \quad (11)$$

для переходной области, когда $2300 < Re < 10000$

$$Nu = 0,008 Re^{0.9} Pr^{0.43}, \quad (12)$$

При движении жидкости в кольцевом пространстве применима формула:

для турбулентного движения

³ Данное уравнение справедливо для случаев теплообмена без изменения агрегатного состояния горячего и холодного потоков.

$$\text{Nu} = 0,023 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,43} \left(\frac{d_{\text{вн}}}{d_{\text{нар}}} \right)^{0,45}, \quad (13)$$

где $d_{\text{вн}}$ и $d_{\text{нар}}$ – соответственно внутренний диаметр наружной трубы и наружный диаметр внутренней трубы;

Для переходной области можно воспользоваться формулой (12).

Цель лабораторной работы

1. Расчёт основных характеристик процесса теплопередачи: тепловой нагрузки Q и средней разности температур $\Delta t_{\text{ср}}$.
2. Расчёт по полученным в результате проведения опытов данным экспериментального значения коэффициента теплопередачи $K_{\text{эксп}}$.
3. Расчёт теоретического коэффициента теплопередачи $K_{\text{теор}}$ по значениям коэффициентов теплоотдачи, которые находятся по критериальным уравнениям.
4. Выявление характера зависимости коэффициента теплопередачи от скорости потоков.
5. Построение графика изменения температур холодного и горячего потоков по длине аппарата.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка предназначена для изучения процесса теплопередачи от горячей воды к холодной в теплообменнике «труба в трубе». Поток горячей воды поступает в трубное пространство аппарата, а поток холодной воды – в межтрубное. Схема установки показана на рис. 3.

В 1-м корпусе СамГТУ нет горячего водоснабжения. Поэтому в нашей лаборатории мы греем воду в электрическом водонагревателе, который расположен за лабораторным стендом и на схеме не

показан. Управление водонагревателем осуществляется со шкафа 5 специалистами лаборатории.

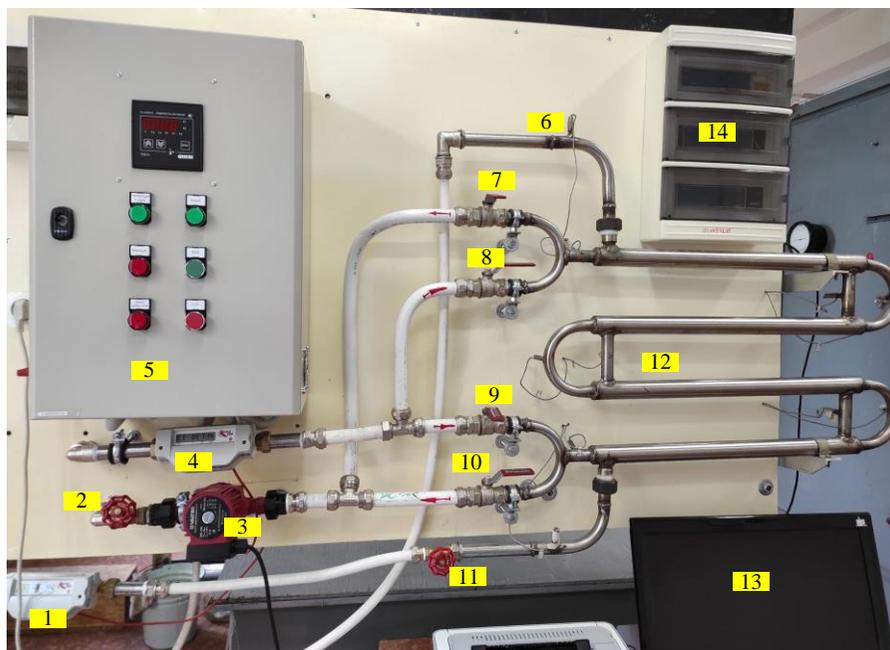


Рис. 3. Схема лабораторной установки.

Положение кранов соответствует организации противотока
1 – расходомер на линии холодной воды; 2 – вентиль на линии горячей воды; 3 – циркуляционный насос горячей воды; 4 – расходомер на линии горячей воды; 5 – шкаф управления нагревом воды; 6 – термодатчик на выходе холодной воды (остальные термодатчики не обозначены), 7, 8, 9, 10 – шаровые краны для переключения горячей воды; 11 – вентиль для регулировки горячей воды; 12 – теплообменник «труба в трубе»; 13 – компьютер, 14 - контроллер

Циркуляцию горячей воды обеспечивает насос 3. Расход горячего потока регулируется вентилем 2. Пройдя через трубное пространство теплообменника 12, немного остывшая вода возвращается в водонагреватель.

Подключение горячего потока выполнено таким образом, что в аппарате можно организовать как противоток, так и прямоток.

Если открыть краны 7 и 9 и закрыть краны 8 и 10, то оба потока – горячий и холодный – пойдут в одном направлении: организуется прямоток. Если же краны 7 и 9 закрыть, а краны 8 и 10 открыть, то получится противоточная схема движения потоков (как показана на рис. 3).

Холодная вода поступает в межтрубное пространство аппарата из водопроводной сети. Её расход регулируется вентилем 11 и измеряется расходомером 1. После прохождения через теплообменник холодный поток сливается в канализацию.

Для измерения температур потоков на входе в аппарат ($t_{1н}$ и $t_{2н}$) и на выходе из него ($t_{1к}$ и $t_{2к}$), а также для определения температур по длине теплообменника в специальных карманах установлено 10 датчиков температуры.

Вся информация от датчиков температуры и расхода поступает на контроллер 14.

Собранная контроллером информация поступает на компьютер 13, где обрабатывается программой «Теплообмен».

Запуск программы «Теплообмен» производится с «Рабочего стола». После загрузки программы начинается анализ поступающей от контроллера информации о температурах потоков и их расходах с их визуализацией в виде схемы теплообмена и графиков расхода и изменения температур. Скриншот показан на рис. 4.

Основные параметры теплообменника

Наружный диаметр внутренней трубы $d_{вн} = 0,025$ м.

Внутренний диаметр наружной трубы $d_{нар} = 0,034$ м.

Толщина стенки внутренней трубы $\delta_{ст} = 0,002$ м.

Эквивалентный диаметр межтрубного пространства $d_э = 0,009$ м.

Площадь сечения трубного пространства $S_{тр} = 3,46 \cdot 10^{-4}$ м².

Площадь сечения межтрубного пространства $S_{мтр} = 4,17 \cdot 10^{-4}$ м².

Площадь поверхности теплопередачи $F = 0,173 \text{ м}^2$.

Коэффициент теплопроводности стенки трубы (сталь X18H10T)

$$\lambda_{cm} = 17,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

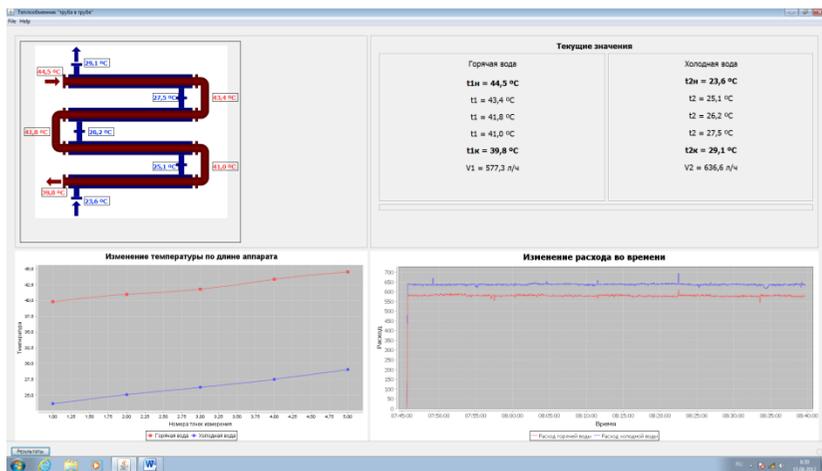


Рис. 4. Скриншот интерфейса программы

Порядок выполнения работы

1. Предполагается, что сотрудниками лаборатории установка полностью подготовлена к работе:

- в бак залита вода и нагрета до заданной температуры;
- включён циркуляционный насос горячей воды 3;
- включена подача холодной воды;
- компьютер включён и программа «Теплообмен» загружена.

2. Поставить краны 7, 8, 9 и 10 в положение, соответствующее прямоотуку.

3. Подождать стабилизации значений расходов горячей и холодной воды и температур. Для этого следить за значениями названных параметров на мониторе.

4. Распечатать результаты эксперимента.
5. Переключить краны 7, 8, 9 и 10 в положение, соответствующее противотоку, и повторить измерения.
6. Эксперимент закончен. Отключение установки проводит персонал лаборатории.

Обработка результатов эксперимента

1. В ходе эксперимента были измерены объёмные расходы горячей V_1 и холодной V_2 воды. А для расчёта тепловой нагрузки по уравнениям (3) и (4) необходимо знать **массовые** расходы горячего G_1 и холодного G_2 потоков. Их значения легко найти из соотношения

$$G = V \cdot \rho, \quad (14)$$

где ρ – плотность горячего и холодного потоков при их средних температурах, для воды значения плотности приведены в таблице 2.

2. Теперь по уравнениям (3) и (4) можно рассчитать тепловой поток, отданный горячей водой Q_1 , и тепловой поток, полученный холодной водой Q_2 . Необходимые для этого значения удельной теплоёмкости воды приведены в таблице 1.

Так как измерение объёмных расходов и температур потоков на входе в аппарат и выходе из него выполнено с некоторой погрешностью, то не следует ожидать точного совпадения Q_1 и Q_2 .

3. По формуле (5) рассчитать среднюю разность температур для прямотока и противотока.

4. Так как нам известна фактическая площадь поверхности теплопередачи ($F = 0.173 \text{ м}^2$), то из основного уравнения теплопередачи (1) можно найти экспериментальное значение коэффициента теплопередачи $K_{\text{эксп}}$

$$K_{\text{эксп}} = \frac{Q}{F \Delta t_{\text{cp}}}. \quad (15)$$

В формулу (15) лучше подставить среднее значение тепловой нагрузки

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}. \quad (16)$$

5. Как указывалось выше, в практике проектирования теплообменных аппаратов используются расчётные методы определения **коэффициентов теплоотдачи**, а через них – **коэффициента теплопередачи**. Поэтому наша следующая задача – проверить совпадение теории и эксперимента.

5.1. Из уравнения расхода

$$V = S \cdot w \quad (17)$$

находим средние скорости горячего w_1 и холодного w_2 потоков.

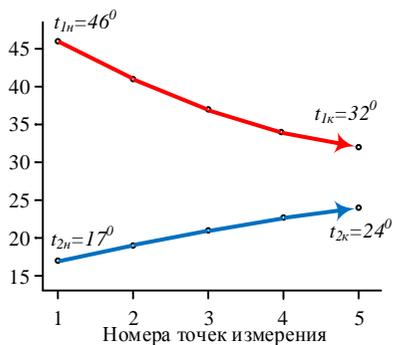
5.2. По уравнению (7) определяем значение критерия Рейнольдса для горячего Re_1 и холодного Re_2 потоков. Необходимые для этого значения плотности ρ и динамического коэффициента вязкости μ берутся из таблицы 1. Геометрические параметры теплообменника приведены выше.

5.3. Теперь необходимо из приведённых на с. 11-12 уравнений выбрать формулы, соответствующие полученным режимам, и рассчитать критерии Нуссельта для горячей Nu_1 и холодной Nu_2 воды. Необходимые для этих расчётов значения критерия Прандтля приведены в таблице 1.

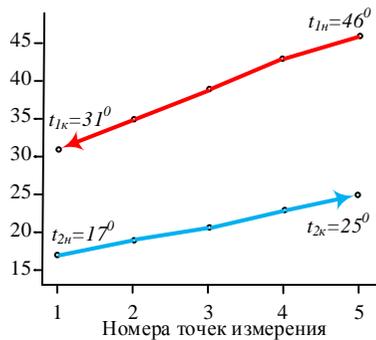
5.4. Из формулы (9), зная величины критериев Нуссельта Nu_1 и Nu_2 , определяем значения коэффициентов теплоотдачи от горячего потока к стенке α_1 и от стенки к горячему потоку α_2 .

5.5. По формуле (6) определить теоретическое значение коэффициента теплопередачи $K_{теор}$, сравнить его с определённым экспериментально $K_{эксп}$ и сделать вывод.

6. В ходе эксперимента были сняты температуры горячего и холодного потоков по длине аппарата. Располагая этими данными, необходимо построить график изменения этих температур (см. рис. 5).



Прямоток



Противоток

Рис. 5. График изменения температуры по длине аппарата

Таблица 1

**Свойства воды в зависимости от температуры
(на линии насыщения)**

Температура, °С	Плотность, $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Теплоёмкость, $c, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$	Вязкость, $\mu \times 10^3, \text{Па} \times \text{с}$	Теплопроводность, $\lambda \times 10^2, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$	Критерий Прандтля Pr
10	1000	4,19	1,310	57,5	9,52
15	999	4,19	1,155	58,7	8,24
20	998	4,18	1,000	59,9	7,02
25	997	4,18	0,902	60,9	6,19
30	996	4,18	0,804	61,8	5,42
35	994	4,18	0,731	62,6	4,88
40	992	4,18	0,657	63,4	4,31
50	988	4,18	0,549	64,8	3,54
60	983	4,18	0,470	65,9	2,98
70	978	4,19	0,406	66,8	2,55
80	972	4,19	0,355	67,5	2,21
90	965	4,19	0,315	68,0	1,95

Контрольные вопросы

1. Цель работы, схема установки, порядок выполнения работы (Методические указания к работе).
2. Способы распространения теплоты, их механизм [4, с. 263-283].
3. Теплопроводность. Закон теплопроводности Фурье. Физический смысл коэффициента теплопроводности и его ориентировочные значения для газов, жидкостей и твердых тел [4, с. 264-270].
4. Понятие удельной теплоемкости, удельного количества теплоты (энтальпии). Уравнения теплового баланса с изменением агрегатного состояния теплоносителей и без изменения [4, с. 261-262].
5. Определение средней разности температур между теплоносителями (средней движущей силы процесса теплопередачи) при различных схемах организации теплообмена [4, с. 300-305].
6. Определение средней температуры теплоносителей [2, с. 8].
7. Закон теплоотдачи Ньютона. Физический смысл коэффициента теплоотдачи и его расчет [4, с. 283-295 или 2, с. 17-20].
8. Критерий Нуссельта, его физический смысл. Расчет критерия Нуссельта при теплоотдаче в прямых трубах и каналах [1, с. 151-157 или 4283-285].
9. Коэффициент теплопередачи: физический смысл, его расчет. Ориентировочные значения коэффициента теплопередачи для различных случаев [1, с. 168-172 или 4, 296-299].
11. Основное уравнение теплопередачи и его использование в инженерных расчетах [2, с. 15-16, или 4, с. 262-263].
12. Единицы удельной теплоемкости, коэффициента теплопроводности, вязкости, теплового потока, коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи в системах МКГСС и СИ. Соотношения между единицами физических величин МКГСС и СИ [1, с. 551-552].
13. Конструкция теплообменных аппаратов: кожухотрубчатых (одно-, двух- и четырёхходовых, жёсткого типа и с компенсацией температурных напряжений), типа «труба в трубе», пластинчатых, спиральных, аппаратов воздушного охлаждения [4, с. 326-334].

Библиографический список

1. *Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов. – 12-е изд., стереотипное. Перепеч. с изд. 1987 г. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. - 575 с.
2. *Измайлов В.Д., Филиппов В.В.* Расчёт теплообменных аппаратов. Учебн. пособие. /Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2006. 108 с.
3. *Измайлов В.Д., Филиппов В.В.* Процессы и аппараты химической технологии. Справочное пособие./Самар. гос. техн. ун-т, Самара, 2006. 44 с.
4. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. _11-е изд., стереотипное, доработанное. Перепеч. с изд. 1973 г. _М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – 753 с.

Оглавление

Введение	3
Основы теории теплопередачи.....	5
Цель лабораторной работы.....	12
Описание лабораторной установки	12
Основные параметры теплообменника	14
Порядок выполнения работы	15
Обработка результатов эксперимента	16
Контрольные вопросы.....	20
Библиографический список.....	21
Оглавление	22

Изучение процесса теплообмена в теплообменнике «труба в трубе»

Учебное издание

Составитель ФИЛИППОВ Вячеслав Васильевич

В авторской редакции

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. п. л. 1,29. Уч.-изд. л. 1,28

Набор и вёрстка В.В. Филиппов.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

«Самарский государственный технический университет»

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус