

**Министерство образования и науки
Российской Федерации**

**ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»**

Новомосковский институт (филиал)

Лобанов Н.Ф.

**Учебно-методическое пособие для студентов
заочной формы обучения по дисциплине
«Теплопередача и теплотехника»**

Новомосковск

2018

УДК 66.02

ББК 34.7

Лобанов Н.Ф.

Учебно-методическое пособие для студентов заочной формы обучения по дисциплине «Теплопередача и теплотехника» / ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал); Новомосковск, 2018 с.

В учебно-методическом пособии приведена программа дисциплины «Теплопередача и теплотехника», даны теоретические основы и методические указания для самостоятельного изучения курса и задания для выполнения контрольной работы, список рекомендуемой литературы.

Пособие предназначено для студентов заочной формы обучения специальности «Машины и аппараты химических производств».

Оглавление

	Введение	4
1	Программа курса	5
.		
2	Основы теплопередачи	8
.		
3	Расчёт теплопроизводительности	16
.		
4	Оценка поверхности теплообмена	17
.		
5	Общие сведения о теплообменных аппаратах	21
.		
6	Классификация теплообменных аппаратов	23
.		
7	Задания для контрольных работ	30
.		
8	Рекомендуемая литература	35
.		
	Приложения 1, 2	36

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Теплопередача и теплотехника» является освоение методики расчёта теплопередачи через стенку, расчётной оценки теплопроизводительности теплообменного оборудования и ознакомление с конструктивными особенностями основных типов теплотехнических устройств

Целью освоения дисциплины является обеспечение подготовки студентов в области инженерных основ разработки теплотехники и формирование следующих компетенций:

– способностью разрабатывать рабочую проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой на соответствие технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;

– способностью участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов при подготовке производства новой продукции, проверять качество монтажа при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий;

– умением проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт технологических машин и оборудования;

– умением применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий.

Задачи преподавания дисциплины:

– освоение основ теплопередачи применительно к основным процессам преобразования тепловой энергии;

– получение теоретических знаний и практических навыков по расчёту параметров теплопередачи через стенку;

– освоение приёмов проектировочного и проверочного расчёта рекуперативных теплообменников;

– использование научных принципов при конструировании и оптимизации энерготехнологических схем типовых объектов теплоспользования;

– освоение методики расчёта теплоизоляции наружных ограждений аппаратов и трубопроводов.

В данном учебном методическом пособии приводятся подробная программа изучаемой дисциплины.

1. ПРОГРАММА КУРСА

Таблица 1

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Введение. Движущая сила теплообмена. Составление тепловых балансов	Научные аспекты разработки процессов и аппаратов преобразования тепла. Индивидуальные механизмы теплопереноса: конвекция, теплопроводность, излучение. Структура курса и его связь с другими дисциплинами учебного плана. Основные термины, положения и понятия технической термодинамики. Первое Начало термодинамики и методика составления энергетических балансов для выделенных систем. Второе начало термодинамики в эксергетической форме.
2.	Стационарный теплообмен. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки.	Классификация тепловых процессов: адиабатические, изотермические и изобарические. Равновесные и неравновесные. Стационарные и переходные. Уравнения теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки. Учёт индивидуальных коэффициентов теплопроводности многослойных стенок. Критический диаметр изоляции.
3.	Высокотемпературный теплообмен. Особенности конструкции генераторов тепла различных типов.	Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Основные безразмерные критерии конвективного теплопереноса. Турбулентный, переходный и ламинарный режимы теплоотдачи. Прямоток, противоток и перекрёстное движение сред. Определение эффективного градиента температур. Обзор сравнительной эффективности конвективных и инфракрасных отопительных систем. Инфракрасные нагреватели «светлого» и «тёмного» типа.
4.	Типы теплообменных аппаратов. Классификация рекуперативных теплообменников. Основные элементы конструкций.	Три класса теплообменных аппаратов: рекуперативные, смешительные и регенеративные теплообменники. Предпочтительные области применения и потенциальные возможности аппаратов. Классификация рекуперативных теплообменников: по конструкции теплообменных поверхностей, по способам компенсации термических деформаций, по технологическому назначению, по теплофизическим и коррозионным характеристикам сред.
5.	Кожухотрубчатые теплообменники. Компенсация	Выбор целесообразной конструктивной схемы рекуперативного теплообменника. Методика теплового расчёта кожухотрубчатого теплообменника. Порядок теплового расчёта паропроводов. Выбор диаметра трубопровода и качества теплоизоляции в зависимости от расхода и температуры пара. Необходимость перегрева

	<p>термических деформаций.</p> <p>Методика расчёта конструкций и трубопроводов</p>	<p>пара на входе в трубопровод.</p> <p>Обеспечение максимальной степени конденсации насыщенного пара объектапаропользования. Принцип действия и конструктивные схемы конденсатоотводчиков.</p>
6.	<p>Топливные котлы и котлы-утилизаторы.</p> <p>Классификация промышленных котлов. Тепловой КПД</p>	<p>Классификация топливных котлов жаротрубной конструкции: по виду топлива, по типу генерируемого теплоносителя, по степени охлаждения дымового газа(конденсационные котлы),по мощности, по давлению пара, по типу горелки и т.д.</p> <p>Сравнительная оценка теплотворной способности топлив. «Высшая» и «низшая» теплотворная.способность углеводородных топ лив.Позитивная роль конденсации паров воды в энергоэффективности конденсационных котлов.</p> <p>Принцип действия котлов –утилизаторов. Особенности конструкции зоны испарения и зоны перегрева пара.</p>
7.	<p>Обслуживание и ремонт теплообменных конструкций.</p> <p>Диагностика дефектов.</p>	<p>Методика обследования герметичности теплообменных конструкций. Гидравлические и пневматические испытания. Приёмы восстановления работоспособности теплообменника.</p> <p>Приёмы удаления накипно-коррозионных отложений.</p> <p>Эффективные технологии коррозионной защиты.</p>

2. ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Перенос теплоты от более нагретой среды к менее нагретой через разделяющую их стенку называют теплопередачей. Оба вещества, участвующих в теплопередаче, называют теплоносителями.

2.1. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Для расчета теплообменных аппаратов широко используют кинетическое уравнение, которое выражает связь между тепловым потоком Q и поверхностью F теплопередачи, называемое *основным уравнением теплопередачи*.

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot \tau \quad (1)$$

K - кинетический коэффициент (коэффициент теплопередачи), характеризующий скорость переноса теплоты;

Δt_{cp} - средняя движущая сила или средняя разность температур между теплоносителями (средний температурный напор), по поверхности теплопередачи;

τ - время.

Тепловой поток Q обычно определяют из теплового баланса. При этом в общем случае (без учета потери теплоты в окружающую среду).

$$Q = Q_1 = Q_2; \text{ или } Q = G_1 \cdot (H_{1H} - H_{1K}) = G_2 \cdot (H_{2K} - H_{2H}) \quad (2)$$

где Q_1 - количество теплоты, отдаваемое горячим теплоносителем;
 Q_2 - количество теплоты, принимаемое холодным теплоносителем;
 G_1 и G_2 - расход соответственно горячего и холодного теплоносителей;
 H_{1H} и H_{1K} - начальная и конечная энтальпии горячего теплоносителя;
 H_{2K} и H_{2H} - начальная и конечная энтальпии холодного теплоносителя.

Если необходимо учесть потери теплоты в окружающую среду, то полученное по уравнениям значение Q следует повысить на величину этих потерь. Обычно потери теплоты в окружающую среду теплоизолированными стенками теплообменников не превышают 3-5% от Q .

Поскольку расчет тепловых потоков, как правило, проводят по уравнениям теплового баланса, то основное уравнение теплопередачи обычно используют для определения поверхности теплопередачи (из уравнения 1).

Движущая сила процесса Δt_{cp} представляет собой среднюю разность температур между температурами теплоносителей. Наибольшую трудность вызывает расчет коэффициента теплопередачи K , характеризующего скорость процесса теплопередачи с участием всех трех видов переноса теплоты. Физический смысл коэффициента теплопередачи вытекает из уравнения (1); его размерность (Вт/м²·К).

Следовательно, коэффициент теплопередачи показывает, какое количество теплоты передается от горячего теплоносителя холодному за 1 с через 1 м² стенки при разности температур между теплоносителями, равной 1 град.

Таким образом, чтобы рассчитать необходимую для проведения теплового процесса поверхность теплопередачи, нужно помимо движущей силы Δt_{cp} определить коэффициент теплопередачи, значение которого зависит от ряда факторов, в том числе от вклада в общую скорость процессов переноса теплоты скоростей отдельных видов переноса - теплопроводности, теплового излучения, конвекции.

2.2. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Величину теплового потока Q , возникающего в теле вследствие теплопроводности при некоторой разности температур в отдельных точках тела, определяют по закону Фурье - *основному закону теплопроводности*:

$$Q = -\lambda F \cdot \tau \quad (3)$$

Знак минус указывает на то, что тепловой поток направлен в сторону уменьшения температуры.

Таким образом, λ показывает, какое количество теплоты проходит вследствие теплопроводности в единицу времени через единицу поверхности теплообмена при падении температуры на один градус на единицу длины

нормали к изотермической поверхности. Иначе говоря, коэффициент теплопроводности является физической характеристикой вещества, определяющей способность тела проводить теплоту; он зависит от природы вещества, его структуры, температуры и других факторов.

2.3. КОНВЕКЦИЯ И ТЕПЛООТДАЧА

Под конвекцией понимают передачу теплоты при движении жидкости или газа. При этом перенос теплоты происходит как бы механически - макрообъемными частицами потока теплоносителя. В реальных условиях конвекция всегда сопровождается теплопроводностью. Поэтому конвекция в теплообменных аппаратах существенно усложняется вследствие образования у поверхности стенки пограничного слоя, в котором *конвекция затухает*. Поэтому под термином *конвекция* понимают только сам *способ переноса теплоты* потоками теплоносителя. Этот процесс отличается от реального, более сложного процесса переноса теплоты к стенке, в котором конвекция также принимает участие.

При турбулентном режиме частицы жидкости или газа, быстро двигаясь в поперечном сечении потока, не ударяются непосредственно о стенку, а действуют на пограничный слой и отдают ему свою теплоту. Дальнейшая передача теплоты стенке происходит в основном путем теплопроводности. При этом пограничный слой представляет собой основное сопротивление процессу. Такой вид переноса теплоты называют *теплоотдачей*. При ламинарном режиме пограничный слой как бы разрастается до заполнения всего сечения канала слоистой струей, и конвекция сводится к одному направлению - *параллельному* стенке. При этом перенос теплоты к стенке определяется в основном *теплопроводностью*.

Теплопроводность и конвекция - два совершенно различных физических процесса. *Теплопроводность - явление молекулярное, конвекция - явление макроскопическое* при котором в переносе теплоты участвуют целые слои теплоносителя с разными температурами. Совершенно очевидно, что конвекцией теплота переносится намного быстрее, чем теплопроводностью,

поэтому развитие турбулентности способствует ускорению конвективного переноса теплоты.

2.4. ПОДОБИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООТДАЧИ

В общем случае аналитически это уравнение решить затруднительно, так как неизвестна толщина пограничного слоя, которая является функцией многих переменных. В инженерных расчётах обычно используют критерий Нуссельта:

$$\frac{a}{\lambda} = Nu \quad (4)$$

Критерий Нуссельта Nu характеризует отношение суммарного переноса теплоты конвекцией и теплопроводностью (т.е. теплоотдачей) к теплоте, передаваемой теплопроводностью (l - определяющий геометрический размер: например, для потоков, движущихся в трубе - диаметр трубы). Поскольку коэффициент теплоотдачи av Nu в условия однозначности не входит, этот критерий является *определяемым*.

Необходимым условием подобия процессов переноса теплоты является соблюдение гидродинамического и геометрического подобия.

Критерий Пекле часто представляют в виде произведения двух безразмерных комплексов:

$$Pe = \Re \cdot Pr \quad (5)$$

Для капельных жидкостей значение Pr с увеличением температуры уменьшается. Для газов $Pr \approx 1$, для жидкостей $Pr = 10 - 100$.

Для установившегося процесса теплообмена критериальное, уравнение теплоотдачи принимает вид:

$$Nu = f_3(Pr, Fr, \Re) \quad (6)$$

При вынужденной теплоотдаче, когда явлением силы тяжести можно пренебречь (например, при движении жидкостей по трубам), критерий Фруда из уравнения может быть исключен. Тогда

$$Nu = f_4(Pr, \Re), \text{ или } Nu = A \cdot \Re^m \cdot Pr^n \quad (7)$$

где A, m, n определяют опытным путем.

Таким образом, на коэффициент теплоотдачи влияют следующие определяющие факторы:

1. **Характер движения теплоносителя и его скорость.** При турбулентном режиме с увеличением скорости теплоносителя толщина пограничного слоя уменьшается и α увеличивается.

2. **Физические свойства теплоносителя** (вязкость, теплопроводность, теплоемкость, плотность и т.д.). Коэффициент теплоотдачи увеличивается с уменьшением вязкости и увеличением λ , ρ , c . Поскольку физические свойства жидкостей и газов изменяются с температурой, то, следовательно, значение α зависит и от температуры.

3. **Размеры и форма поверхности теплообмена, ее обработка** (гладкая, шероховатая и т. д.).

2.5. ТЕПЛООТДАЧА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ

Этот вид теплоотдачи, а также теплоотдача при кипении жидкостей протекают при изменении агрегатного состояния теплоносителей. Особенность этих процессов состоит прежде всего в том, что тепло подводится или отводится при постоянной температуре.

Теплоотдача при *конденсации насыщенных паров* представляет собой сложное явление одновременного переноса теплоты (определяемое теплотой парообразования) и массы (определяемой количеством сконденсированного пара).

Конденсация насыщенного пара на охлаждаемой поверхности приводит к значительной интенсификации теплообмена по сравнению, например, с теплообменом от газа к стенке. При этом механизм конвекции совершенно иной. Молекулы пара не только переносятся к охлаждаемой стенке вихрями турбулентного потока, но и создают еще и собственное поступательное движение к стенке, так как в непосредственном соседстве с ней происходят конденсация пара и резкое уменьшение его объема. Образовавшийся конденсат стекает по стенке, а к стенке подходит свежий пар. Чем холоднее стенка, тем интенсивнее идут конденсация и движение молекул пара к стенке.

Перенос теплоты из основной массы пара к стенке идет настолько быстро, что степень турбулизации потока не оказывает существенного влияния на процесс и часто может не учитываться в расчетах.

На хорошо смачиваемых поверхностях капли конденсата, сливаясь друг с другом, образуют жидкую пленку, которая под действием силы тяжести стекает вниз. Такую конденсацию пара называют *пленочной*. На несмачиваемой или плохо смачиваемой поверхности капли конденсата быстро стекают («скатываются») по поверхности стенки, не образуя пленки. Такой вид конденсации называют *капельной*. Капельная конденсация на практике реализуется редко, несмотря на то, что коэффициенты теплоотдачи в этом случае в несколько раз выше коэффициентов теплоотдачи при пленочной конденсации. Последнее объясняется тем, что и при пленочной конденсации коэффициенты теплоотдачи достаточно высоки, и поэтому стадия переноса теплоты при пленочной конденсации обычно не является лимитирующей в общем процессе теплопереноса, в то время как создание несмачиваемой (гидрофобной) поверхности в теплообменнике (для создания условий капельной конденсации) приводит к удорожанию процесса. Поэтому в теплообменных аппаратах обычно конденсация паров происходит по пленочному механизму.

При пленочной конденсации на стенке вследствие разности температур образуется пленка конденсата, которая постепенно увеличивается по мере стекания. При этом увеличивается и термическое сопротивление пленки.

При ламинарном режиме движения стекающей пленки конденсата количество dQ теплоты, проходящее через элементарную площадку dF этой пленки, определяется по формуле:

$$dQ = \lambda \cdot (t_{\Pi} - t_{cm}) \cdot dF \cdot \frac{1}{\delta} \quad (8)$$

где λ и δ - соответственно теплопроводность и толщина пленки конденсата.

Это же количество теплоты можно выразить с помощью уравнения теплоотдачи:

$$dQ = a \cdot (t_{cm} - t_{II}) \cdot dF \quad (9)$$

В результате совместного решения уравнений (8) и (9) получим коэффициент теплоотдачи α .

2.6. ТЕПЛООТДАЧА В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителей в трубах и каналах. Обычно в теплообменных аппаратах один из теплоносителей движется по трубам, с помощью которых чаще всего в технике формируется поверхность теплопередачи. Поэтому для расчета и рациональной эксплуатации теплообменников очень важно знание основных закономерностей переноса теплоты при движении теплоносителя в трубах.

При ламинарном движении теплоносителя, равномерном распределении скорости и температуры на начальном участке трубы у поверхности стенки образуются пограничные слои толщиной δ_r , (гидродинамический) и δ_t , (тепловой). Толщина этих слоев по мере удаления от входа увеличивается, и на некотором расстоянии, называемом *длиной участка гидродинамической* (l_r) и *тепловой* (l_t) *стабилизации*, они смыкаются. При этом коэффициент теплоотдачи изменяется от максимального значения на входе до практически неизменного после смыкания пограничных слоев. Явление резкого увеличения скорости переноса субстанции (в данном случае - теплоты) при входе потока в аппарат получило название «входной эффект». Очевидно, что для создания условий повышенных значений коэффициентов теплоотдачи целесообразно формировать теплообменники с длиной труб, незначительно превышающей l_t .

2.7. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Выведем уравнение переноса теплоты от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их стенку при условии постоянных и изменяющихся вдоль поверхности теплообмена температур теплоносителей.

Теплопередача при постоянных температурах теплоносителей

Рассмотрим перенос теплоты при установившемся процессе через многослойную плоскую стенку (рис. 2.1). Полагаем, что $t_1 > t_2$ (t_1 и t_2 — температуры горячего и холодного теплоносителя соответственно), $\lambda = \text{const}$.

Количество теплоты, передаваемое за время τ от горячего теплоносителя стенке:

$$Q = a_1 \cdot F_\tau (t_1 - t_{cm}) \quad (10)$$

Это же количество теплоты пройдет через стенки в результате теплопроводности:

$$Q = \lambda_2 \cdot F_\tau (t_{cm} - t_{cm2}) \quad (11)$$

Количество теплоты, отдаваемое стенкой холодному (менее нагретому) теплоносителю, определяется по формуле:

$$Q = a_2 \cdot F_\tau (t_{cm2} - t_2) \quad (12)$$

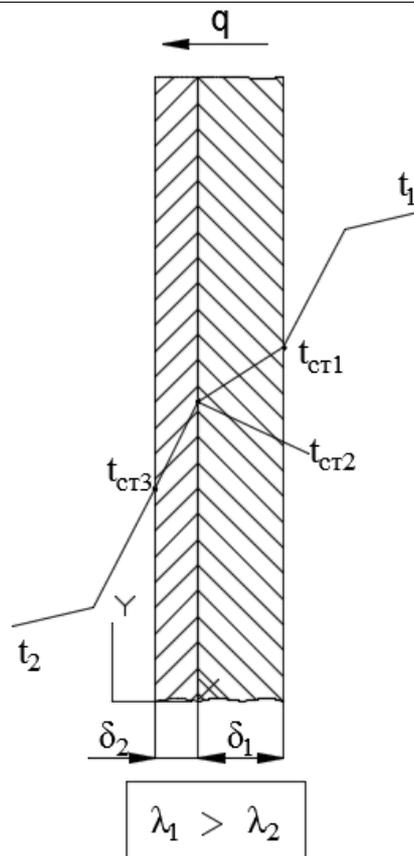


Рис. 2.1. Схема теплопередачи через многослойную плоскую стенку.

3. РАСЧЕТ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

3.1. Расчет теплопроизводительности теплообменника в единицах мощности производится по одной из формул:

а) При охлаждении целевого продукта:

$$Q = G_1 \cdot C_p \cdot \dot{t}_1 - t_1 \quad (13)$$

б) При конденсации насыщенного пара:

$$Q_1 = G_1 \cdot (h_{\text{ex}} - h_{\text{вых}}) \quad (14)$$

в) При нагреве целевого продукта:

$$Q_2 = G_2 \cdot C_p \cdot \dot{t}_2 - t_2 \quad (15)$$

где: G - массовый расход среды [кг/с]

C_p - средняя теплоемкость среды в заданном диапазоне температур;

t_1 и t_1' температура горячей среды на входе и выходе соответственно;

t_2 и t_2' температура охлаждаемой среды на входе и

выходе соответственно;

h_{ex} и $h_{\text{вых}}$ - энтальпии пара и конденсата [кДж/кг].

3.2. Определение параметров вспомогательных сред (расхода или температуры)

а) при нагреве целевой среды:

$$Q_1 = Q_2 = G_2 \cdot C_p \cdot \dot{t}_2 - t_2 \quad (16)$$

$$Q_1 = Q_2 = G_2 \cdot (h_{\text{ex}} - h_{\text{вых}}) \quad (17)$$

б) при охлаждении целевой среды:

$$Q_2 = Q_1 = G_1 \cdot C_{p1} \cdot \dot{t}_1 - t_1 \quad (18)$$

3.3. Массовый секундный расход:

$$G = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta t} = \frac{Q}{\Delta h} \quad [\text{кг/с}] \quad (19)$$

3.4. Объемный расход среды:

$$G_{об} = G / \rho \cdot (T, P) \quad (20)$$

4. ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА

При стационарном теплообмене через плоскую стенку мощность теплового потока (Q) определяется тремя параметрами:

$$Q = k \cdot S \cdot \Delta T, [\text{кВт}] \quad (21)$$

где: k – коэффициент теплопередачи через плоскую стенку [$\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{Ос}$];

S – расчетная площадь теплообмена [м^2];

ΔT – расчетный градиент температур [$^{\circ}\text{С}$].

Для нахождения расчетной площади теплообменной поверхности нам надо определить два параметра: ΔT и k .

$$S = \frac{Q}{\Delta T \cdot k} \quad (22)$$

Определяется направление движения двух теплоносителей в рабочем пространстве теплообменника.

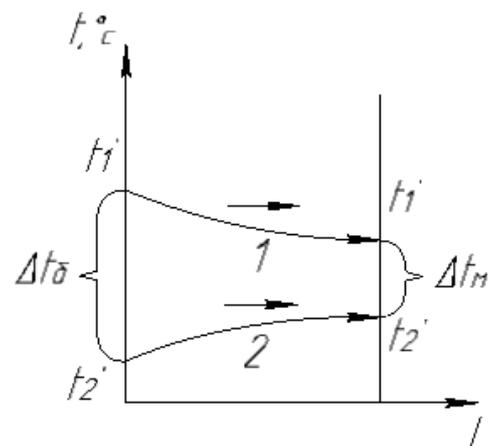
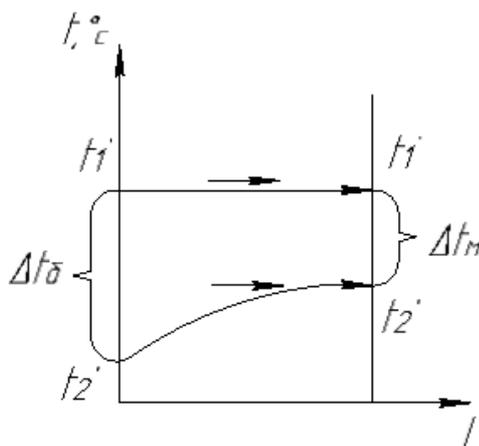
Возможны три варианта взаимодействия теплоносителей:

а) Прямоток (рис. 4. 1).

б) Противоток (рис. 4. 2).

в) Перекрестное движение сред (при установке поперечных перегородок в межтрубном пространстве длинных теплообменников).

Обозначим греющий теплоноситель - индексом «1», а нагреваемую среду – индексом «2».



а)

б)

Рис. 4.1

Прямоточное движение теплоносителей.

а – греющий теплоноситель – насыщенный пар.

б – греющий теплоноситель – газ и жидкость.

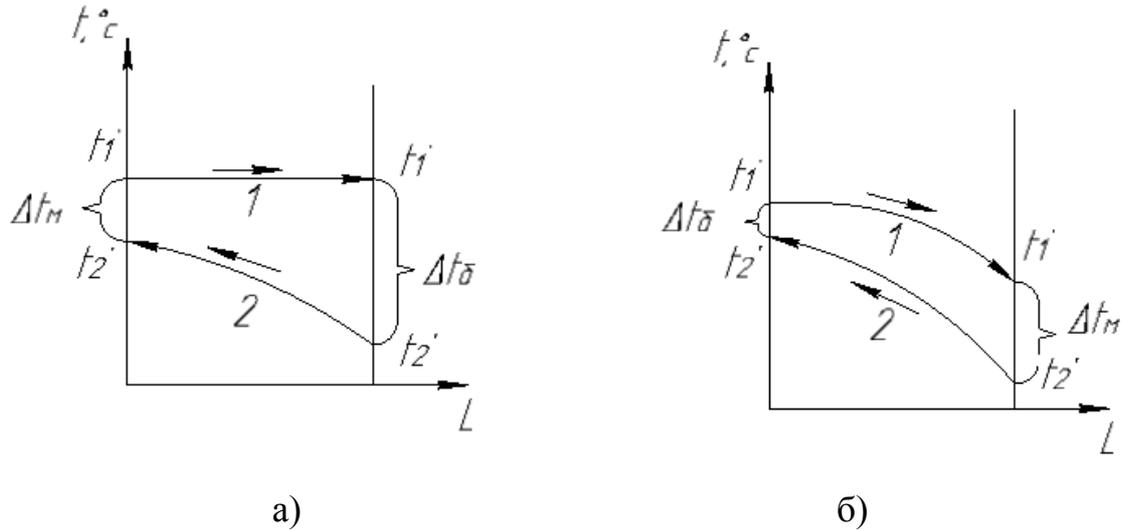


Рис 4.2

Противоточное движение теплоносителей (обозначения – на рис.4 1)

Значения температур теплоносителей заданы или найдены из тепловых балансов .

Из соответствующего графика прямоток или противоток находим наибольшую (Δt_δ) и наименьшую (Δt_M) разность температур на входе и выходе из теплообменника.

Градиент температур (Δt) рассчитывается по универсальной формуле:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_\delta - \Delta t_M}{2,3 \cdot \lg \left(\frac{\Delta t_\delta}{\Delta t_M} \right)} \quad (23)$$

При перекрестном токе сред температурной градиент (или температурный напор) рассчитывается по графикам с помощью вспомогательных коэффициентов [исходя из градиента температур, рассчитанного для чисто противоточной схемы течения теплоносителей. В первом приближение можно принять:

$$\Delta t_c \overset{\text{перекр}}{=} 0,85 \cdot \Delta t_{\text{противоток}} \quad (24)$$

Тонный расчет коэффициента теплопередачи (k) по обычной схеме, учитывающей режимы течения сред через критерии Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля и геометрических размеров труб, изготовленных из конкретных сплавов, требует проведения достаточно сложных инженерных расчетов с циклическими итерациями по первоначальным результатам расчета.

Для ориентировочной оценки реального диапазона изменения коэффициентов теплопередачи при вынужденном движении сред используем справочную таблицу 2 [1]:

Таблица 2

№	Вид теплообменника	$k, \frac{B_m}{M^2 \cdot K}$	Назначение аппаратов
1.	От газа к газу	10 - 40	Теплообменники
2.	От газа к жидкости	10 - 60	Холодильники
3.	От конденсирующего пара к газу (воздух)	10 - 60	Подогреватели
4.	От жидкости к жидкости (вода)	800 - 1700	Теплообменники
5.	От жидкости к жидкости (углеводородные масла)	120 - 270	Теплообменники
6.	От конденсирующегося пара к воде	800 - 3500	Подогреватели, Конденсаторы
7.	От конденсирующего пара к газу (воздух)	300 - 2500	Испарители
8.	От конденсирующегося пара к органическим жидкостям	120 - 340	Подогреватели

При выборе конкретного коэффициента теплопередачи желательно проанализировать его влияние (k_{\min} , $k_{\text{ср}}$, k_{\max}) на поверхности теплообмена (S). В первом приближении рационально применять величину k , близкую к средним значениям.

Расчетную площадь поверхности теплообмена можно определить по известной формуле:

$$S = -10^3 \frac{Q}{\Delta t \cdot k}, [M^2] \quad (25)$$

5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

Теплообменные аппараты (ТА) – это устройства, предназначенные для нагревания, охлаждения или для изменения агрегатного состояния теплоносителя. В ТА один теплоноситель (теплоотдающий) передает теплоту другому теплоносителю (тепловоспринимающему). Если передача теплоты происходит при изменении агрегатного состояния какого-либо теплоносителя (кипение, конденсация), то его температура в процессе теплопередачи остается постоянной. В остальных случаях температуры теплоносителей в ТА изменяются.

Повышение эффективности теплообменников увеличением оребрения и увеличением коэффициентов теплоотдачи на уже развитых поверхностях приводит к увеличению стоимости и массы радиаторов, усложняет процесс их изготовления, увеличивает аэродинамическое сопротивление и засоряемость. Представляет интерес разработка таких способов повышения эффективности радиаторов, при которых влияние перечисленных недостатков минимально.

Для осуществления длительной работоспособности в процессе эксплуатации при обработке среды, загрязненной или выделяющей отложения на стенках аппарата, необходимо производить периодические осмотры и очистку поверхностей. Аппараты должны обладать достаточной прочностью и иметь возможно малые габаритные размеры. При конструировании необходимо находить оптимальные решения, учитывающие требования обеспечения возможности разборки рабочей части аппарата и герметичности системы каналов, возможно высоких коэффициентов теплопередачи за счет повышения скорости движения рабочей среды при минимальных гидравлических потерях в аппарате.

В химических производствах до 70% теплообменных аппаратов применяют для сред жидкость — жидкость и пар — жидкость при давлении до 1 МПа и температуре до 200 °С. Для указанных условий разработаны и серийно изготовлены теплообменные аппараты общего назначения кожухотрубчатого и спирального типов. В последнее время получают

распространение пластинчатые теплообменные аппараты общего назначения. Одним из преимуществ трубчатых теплообменных аппаратов является простота конструкции. Однако коэффициент унификации узлов и деталей размерного ряда этих аппаратов, являющийся отношением числа узлов и деталей (размеры одинаковы для всего ряда) к общему числу узлов и деталей данного размерного ряда, составляет примерно 0,13. В то же время этот коэффициент применительно к пластинчатым теплообменным аппаратам составляет 0,9. Удельная металлоемкость кожухотрубчатых аппаратов в 2 — 3 раза больше металлоемкости новых пластинчатых аппаратов.

Режим работы теплообменного аппарата и скорость движения теплоносителей необходимо выбирать таким образом, чтобы отложение загрязнений на стенках происходило возможно медленнее. Например, если охлаждающая вода отводится при температуре 45 – 50 ° С, то на стенках теплообменного аппарата интенсивно осаждаются растворенные в воде соли.

При конструировании следует обоснованно решать вопрос о направлении теплоносителей в трубное или межтрубное пространство. Например, теплоносители, загрязненные и находящиеся под давлением, обычно направляют в трубное пространство. Насыщенный пар лучше всего подавать в межтрубное пространство, из которого легче удалить конденсат. Чистка трубного пространства (в котором вероятнее всего будут выпадать загрязнения) легче, а живое сечение для прохода теплоносителя меньше. Вследствие этого в трубном пространстве можно обеспечить теплоносителю более высокие скорости и, следовательно, более высокие коэффициенты теплоотдачи. Основными материалами для производства теплообменников служат углеродистые стали и цветные металлы.

6. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

В основу классификации ТА могут быть положены различные признаки. Рассмотрим классификацию по функциональным и конструктивным признакам, а также по схемам тока теплоносителей.

По принципу работы ТА могут быть разделены на две большие группы: поверхностные и контактные.

В поверхностных ТА теплоносители (горячий и холодный) омывают поверхность твердой стенки или тела. Поверхностные ТА разделяются на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных ТА обменивающиеся теплотой теплоносители протекают одновременно и передача теплоты происходит через разделяющую их стенку. Теплообмен происходит за счет конвекции и теплопроводности стенки, а если хоть один из теплоносителей является излучающим газом, то и за счет теплового излучения.

В регенеративных ТА одна и та же поверхность теплообмена через определенные промежутки времени омывается то горячим, то холодным теплоносителями. Сначала поверхность отбирает теплоту от горячей среды и нагревается, затем поверхность отдает теплоту холодной среде. Таким образом, в регенеративных ТА теплообмен всегда происходит в нестационарных тепловых условиях, тогда как рекуперативные ТА большей частью работают в тепловом режиме.

В качестве поверхности теплообмена в регенеративных ТА используется теплоаккумулирующая насадка, элементы которой, например в виде шаров, решеток, колец, образуют каналы сложной формы для прохождения теплоносителей.

В контактных ТА передача теплоты от греющего теплоносителя к нагреваемому происходит при их непосредственном контакте.

Контактные ТА делятся на смесительные и барботажные. В аппаратах смесительного типа нагреваемый и греющий теплоносители перемешиваются. В барботажных аппаратах греющий теплоноситель прокачивается через нагреваемый, или наоборот, не смешиваясь с ним.

ВТА нагревание одного теплоносителя происходит за счет охлаждения другого. Исключение составляют теплообменники с внутренним тепловыделением, в которых теплота выделяется в самом аппарате и идет на нагрев теплоносителя. Это разного рода электронагреватели и реакторы.

Если в ТА теплота от горячего теплоносителя рассеивается излучением, то такие ТА называются излучателями или радиационными теплообменниками.

По роду теплоносителей различают ТА: жидкость-жидкость; пар-жидкость; газ-жидкость; пар-пар; пар-газ; газ-газ.

В зависимости от изменения агрегатного состояния теплоносителей ТА делят: без изменения агрегатного состояния; с изменением агрегатного состояния одного теплоносителя; с изменением агрегатного состояния обоих теплоносителей.

ВТА могут протекать различные процессы теплообмена: нагрев; охлаждение; кипение; конденсация; вымораживание; ректификация и т.д. В зависимости от этих процессов ТА можно называть: подогреватели, охладители, испарители, конденсаторы и т.д.

По характеру движения теплоносителей относительно теплопередающей поверхности ТА делят на два типа: с естественной и с принудительной циркуляцией теплоносителей.

КТА с естественной циркуляцией относятся испарители, выпарные аппараты, водогрейные котлы, у которых теплоноситель движется благодаря разности плотностей жидкости и образующейся парожидкостной смеси в трубах циркуляционного контура.

К ТА с принудительной циркуляцией относятся, например, рекуперативные теплообменники, в которых теплоносители движутся за счет внешних сил, создаваемых компрессорами, насосами, вентиляторами.

По роду теплового режима ТА могут быть со стационарными и нестационарными процессами теплообмена. Рекуперативные ТА, в основном,

работают в установившемся стационарном режиме, а регенеративные – в нестационарном режиме.

По виду (конфигурации) поверхности теплообмена рекуперативные ТА делят: кожухотрубчатые с прямыми гладкими трубами; кожухотрубчатые с U-образными трубами; кожухотрубчатые с оребренными трубами; секционные «труба в трубе»; змеевиковые; спиральные; пластинчатые; пластинчато-ребристые.

Регенеративные ТА классифицируются по виду насадки. При низких температурах в криогенных регенеративных ТА в качестве элементов насадки часто используется алюминиевая гофрированная лента. При намотке на диски двух лент образуется извилистые каналы, конфигурация которых способствует интенсификации процессов теплообмена при течении по ним теплоносителей. При умеренных и низких температурах устанавливают сетчатую насадку из материала с высокой теплопроводностью (медь, латунь).

Для уменьшения гидравлического сопротивления в низкотемпературных регенеративных ТА применяются металлические пластины и каналы которой в виде усеченной пирамиды равномерно распределены по всему сечению. В криогенных и металлургических ТА используют насадку в виде шариков или гранул диаметром 6...12 мм, изготовленных из материала с большой теплоемкостью и обладающих повышенной жаростойкостью (оксиды алюминия, магния, кварцит и т.п.). В высокотемпературных регенеративных ТА насадка часто выполняется решетчатой из огнеупорного кирпича разной формы. В некоторых аппаратах насадку делают из колец Рашига.

По способу компенсации температурных удлинений рекуперативные ТА классифицируют: без компенсации (жесткая конструкция); с компенсацией упругим элементом (полужесткая конструкция); с компенсацией в результате свободных удлинений (нежесткая конструкция).

В теплообменных аппаратах жесткой конструкции (рис.б. 1. а) теплообменные трубы 3 и кожух 2 соединены жестко с трубными решетками 6.

Для полужесткой конструкции (рис.б. 1. б) на кожухе 2 предусмотрены специальные компенсаторы температурных деформаций, выполненные в виде линз. Такие аппараты применяют в тех случаях, когда возникающие температурные напряжения в трубах и кожухе вследствие разности температур не превышают допустимые.

В ТА нежесткой конструкции (рис.б. 1. в, г, д,) трубы и кожух могут свободно перемещаться относительно друг друга благодаря применению U-образных труб (рис.б. 1. в) подвижной (плавающей) трубной решетки 6 (рис.б. 1. г) и подвижной трубной решетки 6 и компенсатора 7 на ней (рис.б. 1. д).

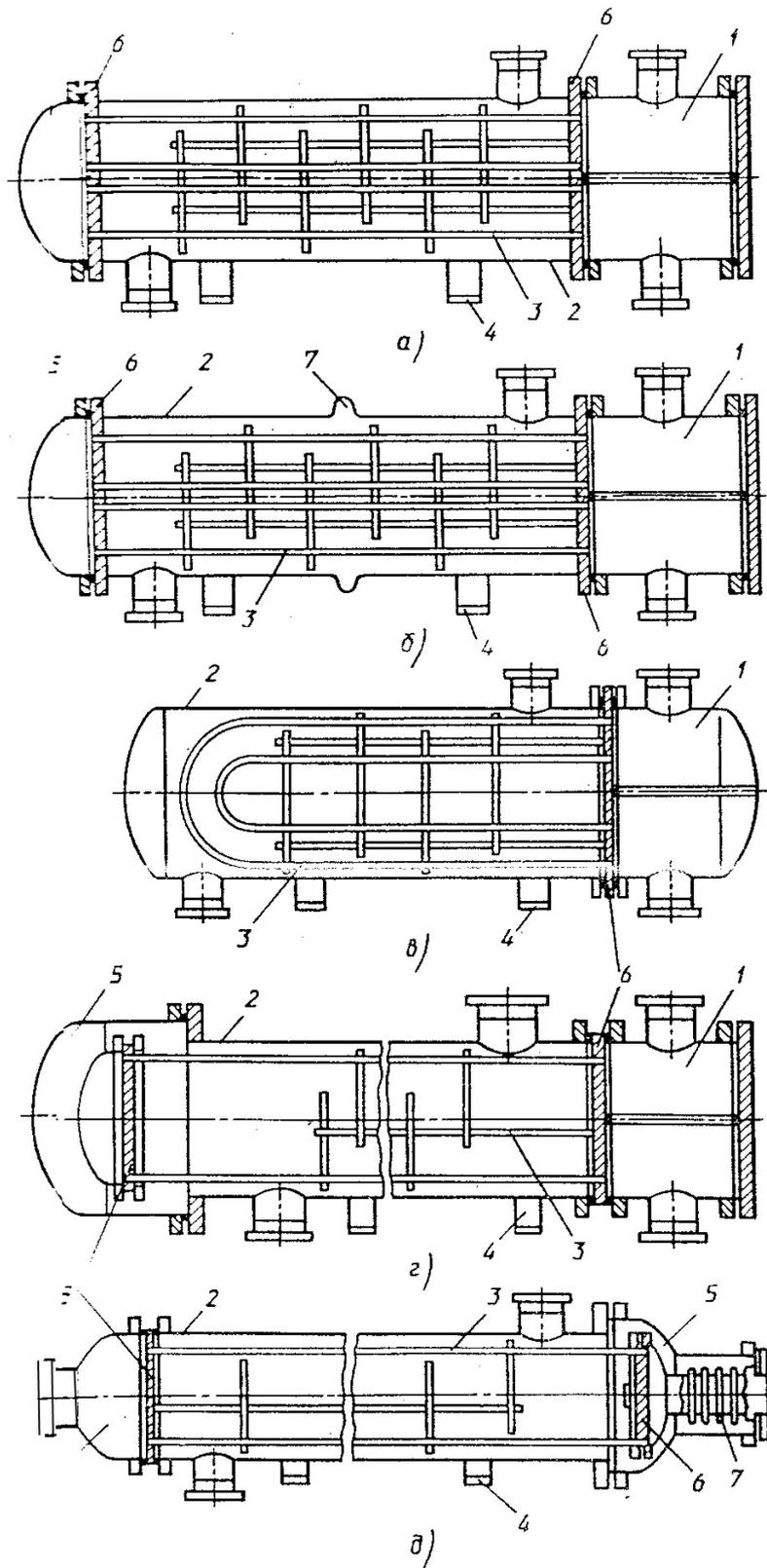


Рис.6. 1. Схемы рекуперативных ТА с различными способами компенсаций температурных удлинений:

1- распределительная камера; 2 – кожух; 3 - теплообменные трубы; 4 – опора; 5 – задняя крышка; 6 – трубная решетка; 7 – компенсатор.

По виду кожуха, ограничивающего теплопередающую поверхность, рекуперативные ТА делят следующим образом: с коробчатым кожухом; кожухотрубчатые; кожухотрубчатые с компенсатором на кожухе; не имеющие ограничивающего кожуха (оросительные аппараты).

По принципу ориентации теплопередающей поверхности в пространстве ТА могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными.

По принципу монтажа ТА разделяют на автономные, навешенные и встроенные.

По оборудованию и обвязке можно выделить аппараты: не имеющие оборудования и обвязки; покрытые изоляцией; оборудованные контрольно-измерительной аппаратурой и приборами автоматики и т.д.

По числу теплоносителей (потоков) ТА разделяют на двух, трех и многопоточные. В отдельных случаях к многопоточным ТА относят системы, состоящие из нескольких теплообменников обычного типа, соединенных циркулирующим промежуточным теплоносителем.

Наиболее распространенным типом теплообменников являются кожухотрубчатые теплообменные аппараты, к основным достоинствам которых относятся: простота изготовления, надежность в эксплуатации, сравнительно высокая поверхность теплообмена при незначительных габаритах.

К недостаткам кожухотрубчатых теплообменников можно отнести их высокую металлоемкость и ограниченную длину труб (не более 9 м).

При выборе конструкции кожухотрубчатого теплообменного аппарата принято придерживаться следующих правил:

- теплоноситель с более высоким давлением направляют в трубное пространство;
- теплоноситель, способный вызывать коррозию металла, следует направлять по трубам во избежание коррозии корпуса аппарата;

– теплоноситель, загрязненный или способный давать твердые отложения, необходимо направлять с той стороны теплообмена, которая доступна для очистки;

– для улучшения теплообмена не всегда требуется увеличение скорости движения теплоносителя;

– более нагретый теплоноситель следует пропускать по трубам, так как при этом уменьшаются потери тепла в окружающую среду.

При выборе положения теплообменника (вертикальное или горизонтальное) следует иметь в виду, что вертикальные аппараты занимают меньшую площадь и отвод конденсата из трубного пространства конструктивно упрощается, однако горизонтальные аппараты легче обслуживать.

Основными исходными данными для проектирования и выбора теплообменной аппаратуры являются следующие:

- назначение аппарата;
- расходы теплоносителей;
- температуры теплоносителей на входе и выходе из аппарата;
- физико-химические свойства потоков теплоносителей;
- схема движения потоков теплоносителей;
- допустимые потери давления в потоках;
- расчетная поверхность теплообмена и др.

7.ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание связано с разделом «Теплообменные аппараты в химической промышленности». Начинать выполнение контрольной работы необходимо с изучения способов передачи тепловой энергии. Далее необходимо познакомиться с классификацией теплообменных устройств, с их значением в процессах химической технологии. По изученному материалу составить конспект и только после этого приступить к выполнению контрольной работы.

7.1. Порядок выполнения контрольной работы №1

Из таблицы 3 студент выбирает вариант задания по последней цифре шифра зачетной книжки.

Для выполнения задания необходимо:

1. Найти конструкцию теплообменного аппарата в рекомендованной литературе или других источниках информации.
2. Вычертить эскиз аппарата на листе формата А3 или А4 в разрезе со всеми основными конструктивными элементами, обозначить основные элементы аппарата, составить упрощенную спецификацию.
3. Используя спецификацию подробно описать конструкцию теплообменного аппарата и принцип его работы.
4. Указать назначение представленного на чертеже теплообменного устройства и область его применения.
5. Привести формулу в общем виде для расчета площади поверхности теплообмена выбранного теплообменного аппарата.

Примечание: Чертеж аппарата могут выполнять вручную либо с использованием компьютерных технологий. Недопустимо использовать ксерокопирование рисунков из учебников, нормативных документов. Чертежи (эскизы) аппаратов выполнять с соблюдением требований ЕСКД. Примеры обложки и выполнения эскизов представлены в приложениях №1 и № 2.

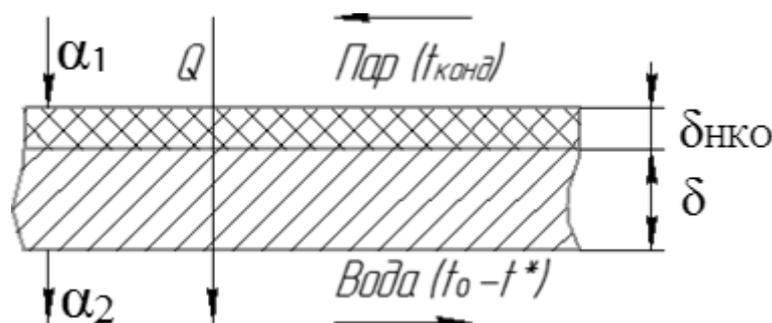
Варианты заданий для контрольной работы №1

Таблица 3

№ п/п	Тип теплообменного устройства	Особенности конструкции
1	Кожухотрубчатый теплообменный аппарат жесткой конструкции	4-х ходовой по трубному пространству
2	Кожухотрубчатый теплообменный аппарат с линзовым компенсатором на корпусе	Многоходовой по межтрубному пространству
3	Кожухотрубчатый теплообменный аппарат с плавающей головкой	С дополнительным днищем трубчатки
4	Кожухотрубчатый теплообменный аппарат с U образными трубкам	2-х ходовой по межтрубному пространству
5	Кожухотрубчатый теплообменный аппарат жесткой конструкцией	Многоходовой по межтрубному пространству
6	Рубашечный теплообменный аппарат	Рубашка съемная
7	Пластинный теплообменный аппарат	
8	Спиральный теплообменный аппарат	С тупиковыми каналами
9	Теплообменные аппараты типа «труба в трубе» и оросительный	С фланцевым соединением отводов на 180°
10	Кожухотрубчатый теплообменный аппарат с двойными трубками (с трубками Фильда)	

7.2. Порядок выполнения контрольной работы №2

Тепловой поток (Q) конденсирующегося пара к воде при давлении (P_n), нагреваемой от начальной температуры (t_0) до заданной (t^*), передается через плоскую металлическую стенку толщиной (δ), загрязненной накипно-коррозионными отложениями (НКО) с определенной теплопроводностью ($\lambda_{\text{НКО}}$) и толщиной ($\delta_{\text{НКО}}$).



Рассчитать коэффициент теплопередачи (k), и удельный тепловой поток (q) при следующих условиях:

- | | |
|--|--|
| 1) Материал стенки: | сталь (нечетные №)
медь (четные №) |
| 2) Давление пара: | $P_n = 0,6$ МПа (нечетные №)
$P_n = 0,4$ МПа (четные №) |
| 3) Давление воды: | $P = 0,2$ МПа |
| 4) Конвективные коэффициенты теплоотдачи (α_1 и α_2): | $\alpha_1 = 4200$ Вт/м·К, $\alpha_2 = 540$ Вт/м·К (нечетные №)
$\alpha_1 = 2500$ Вт/м·К, $\alpha_2 = 200$ Вт/м·К (четные №) |
| 5) Толщина стенки из металла: | $\delta = 6$ мм (нечетные №)
$\delta = 4$ мм (четные №) |
| 6) Варианты исходных данных (по последней цифре номера) приведены в таблице 4. | |

Варианты заданий для контрольной работы №2

Таблица 4

№ вар	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t^* , °C	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$\delta_{\text{нко}}$, мм	0,2	0,8	0,6	0,4	0,9	0,1	0,7	0,5	1,2	1,0
$\lambda_{\text{нко}}$, Вт/м·К	1,5	1,35	1,2	1,05	0,9	1,4	1,45	1,0	0,8	1,1

Примечание:

1. По материалу стенки найти λ (табл.5)
2. По давлению пара найти температуру фазового перехода $t_{\text{конд}}$ (табл. 6)

Расчетные формулы:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \left(\frac{\delta}{\lambda} + \frac{S_{\text{нко}}}{\lambda_{\text{нко}}} \right) + \frac{1}{a_2}}$$

$$q = k \cdot \Delta T$$

Коэффициенты теплопроводности для разных материалов

Таблица 5

Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность (λ), Вт/м·К
Алюминий	2700	203,5
Латунь	8500	93
Медь	8800	384
Сталь углеродистая	7850	46,5
Сталь нержавеющая	7900	17,5

Температуры фазового перехода

Таблица 6

Давление воды	Температура кипения (T_K)	Теплота парообразования (г)
кПа	°С	ккал/кг
100	99,09	539,6
200	119,62	532,1
300	132,88	518,0
400	142,92	510,2
500	151,11	504,2
600	158,08	504,2

8. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. 10-е, пер. и доп. Л., Химия, 1987. – 576 с.

2. Поникаров И.И., Гайнуллин М.Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Альфа-М, 2006. 608 с.

3. Тимонин А.С. Балдин Б.Г. и др. Машины и аппараты химических производств. Калуга: изд-во. Н.Ф. Бочкаревой, 2008. 872 с.

4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. 784 с.

5. М. П. Вукалович. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Справочник. 6-е издание. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. 1958. 245 с.

6. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. 344 с.

Образец оформления титульного листа контрольной работы

Министерство образования и науки РФ

Российский химико-технологический университет

им. Д.И. Менделеева

Новомосковский институт (филиал)

Кафедра «Оборудование химических производств»

Контрольная работа по дисциплине

«Теплопередача и теплотехника»

Преподаватель _____

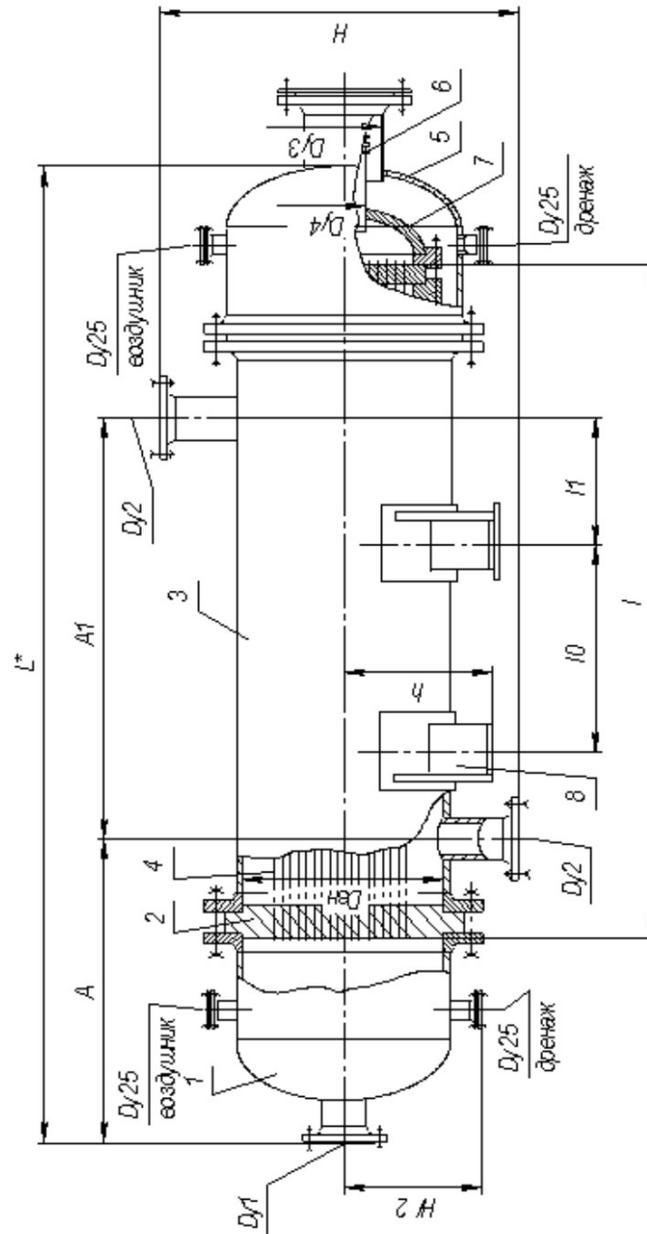
Студент _____

Группа _____

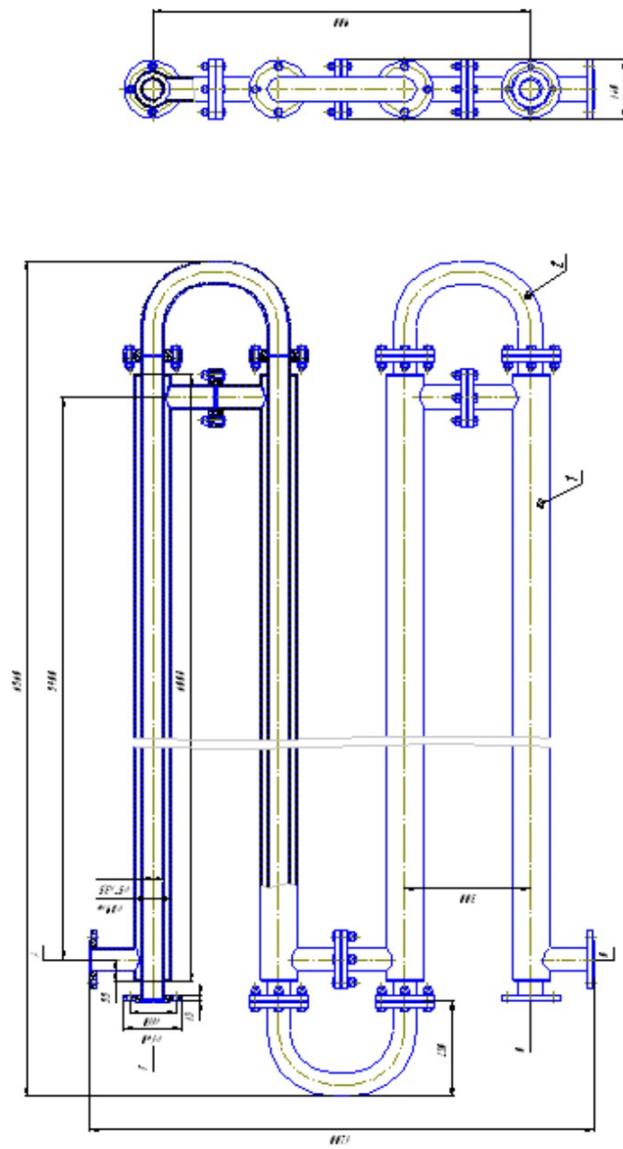
Шифр зачётной книжки _____

Новомосковск, 20 _____

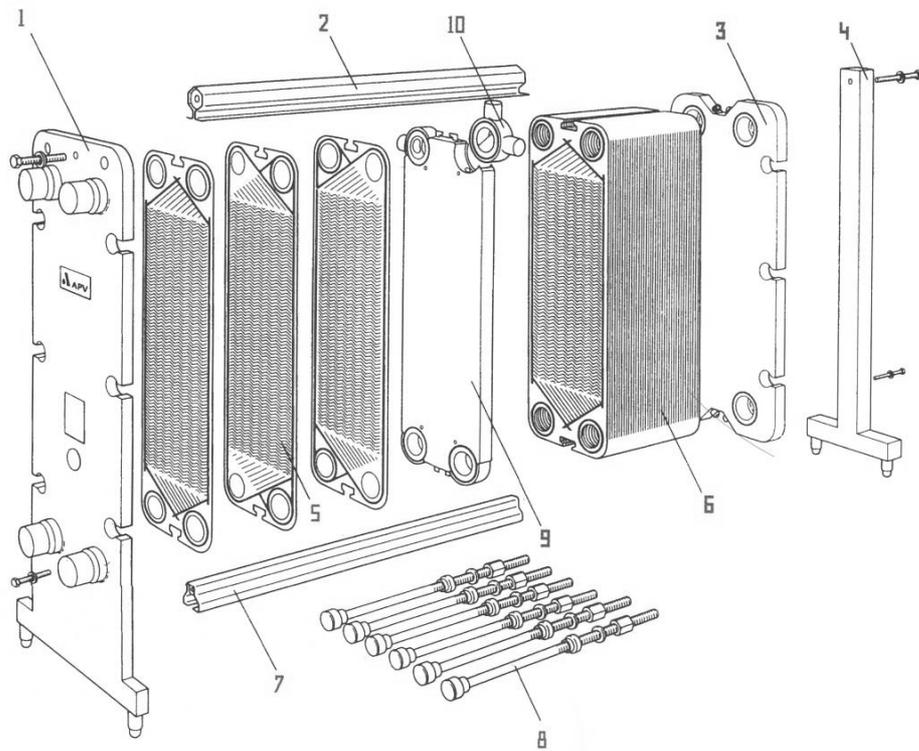
Пример выполнения эскиза кожухотрубного теплообменного аппарата с плавающей головкой



Пример выполнения эскиза
теплообменного аппарата типа «труба в трубе»

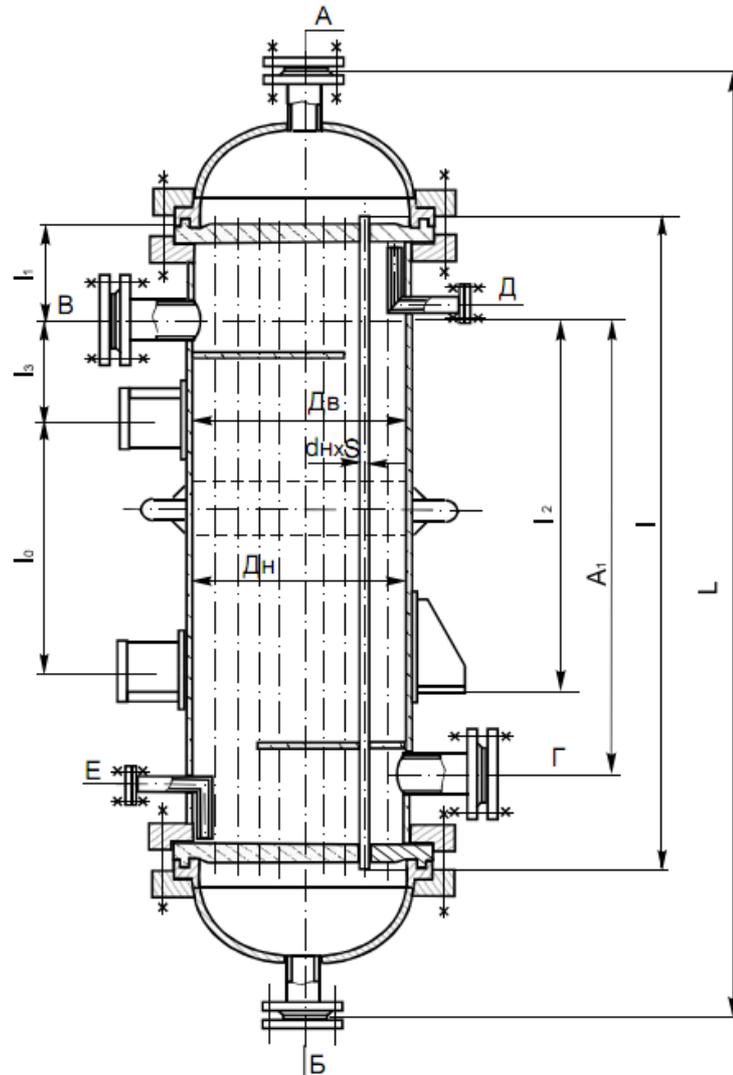


Пример выполнения эскиза
пластинчатого теплообменного аппарата

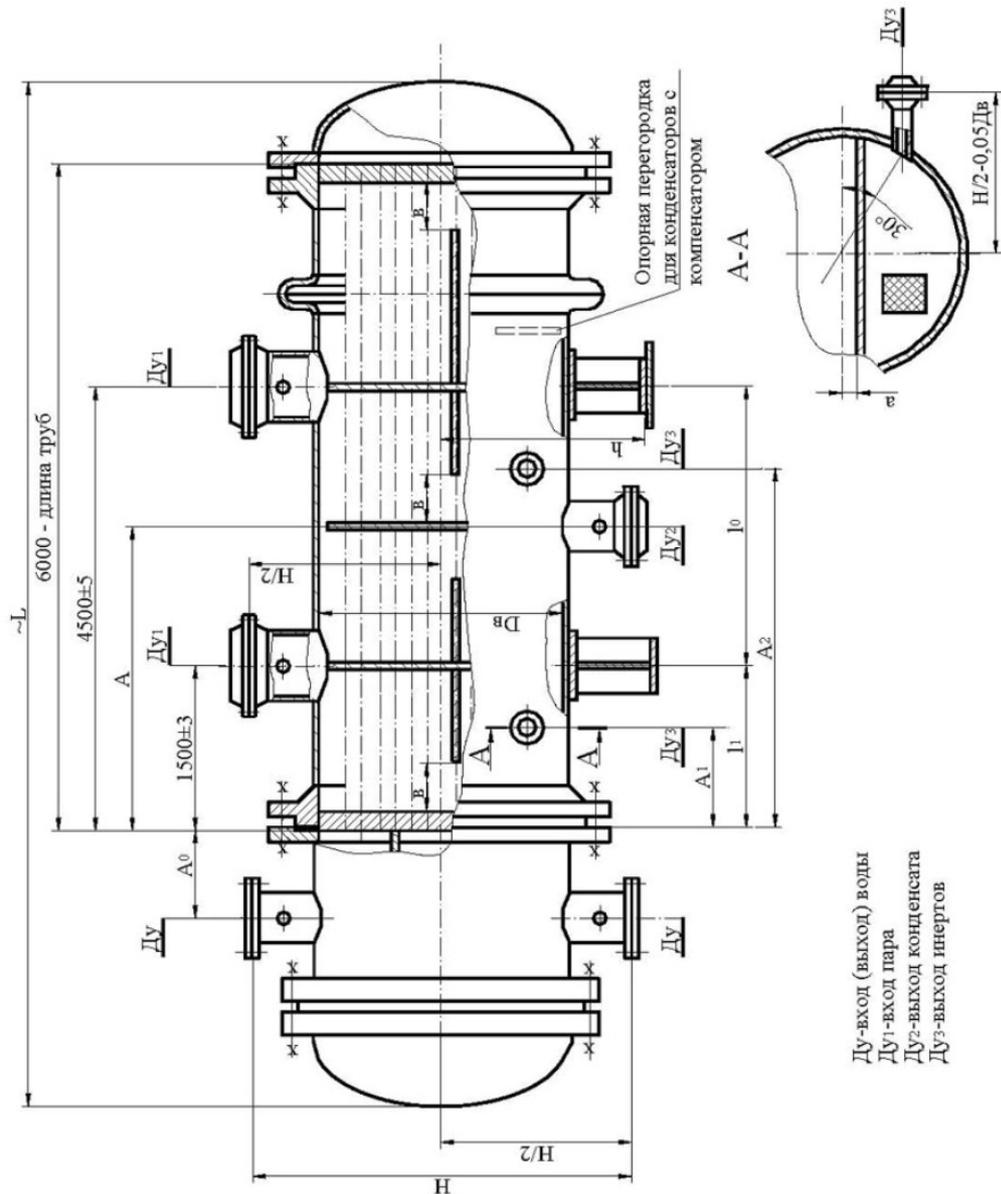


- 1 – неподвижная плита;
- 2 – несущая балка;
- 3 – подвижная плита;
- 4 – стойка;
- 5 – поточная пластина;
- 6 – пакет пластин;
- 7 – направляющая балка;
- 8 – сжимающие болты;
- 9 – промежуточная плита;
- 10 – угловой блок.

Пример выполнения эскиза кожухотрубного теплообменного аппарата с линзовым компенсатором на кожухе



Пример выполнения эскиза кожухотрубного 2-х ходового
по трубному пространству теплообменного аппарата
с линзовым компенсатором на кожухе



Для заметок

Учебное издание

Учебно-методическое пособие для студентов заочной формы обучения

по дисциплине

«Теплопередача и теплотехника»

ЛОБАНОВ Николай Фёдорович

Редактор Туманова Е.М.

Подписано в печать г. Формат 60×84¹/₁₆

Бумага «Снегурочка». Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. . Уч.–изд. л. .

Тираж 50 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»

Новомосковский институт (филиал). Издательский центр.

Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9

Адрес института: 301650, Тульская обл., Новомосковск, ул. Дружбы, 8