

**Методические указания
к практическому занятию по учебной дисциплине «Теорети-
ческие основы теплотехники и гидравлики»**

Тема: Расчет кожухотрубчатых теплообменников.

Цель: Приобрести практические навыки в самостоятельном рас-
чете кожухотрубчатых теплообменников, изучении технической лите-
ратуры. Изучить конструкцию и назначение теплообменников.

Время: 4 часа.

Аудитория: обучающиеся по специальности 13.02.02. «Тепло-
снабжение и теплотехническое оборудование»

Преподаватель Чекаенков В.А.
ТПТТ им.Е.И.Лебедева

Введение

Теплообменные аппараты предназначены для проведения процессов теплообмена при необходимости нагревания или охлаждения технологической среды с целью ее обработки или утилизации теплоты.

Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической и смежных отраслях промышленности. Удельный вес на предприятиях химической промышленности теплообменного оборудования составляет в среднем 15-18%, в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности - 50 %. Значительный объем теплообменного оборудования на химических предприятиях объясняется тем, что почти все основные процессы химической технологии (выпаривание, ректификация, сушка и др.) связаны с необходимостью подвода или отвода теплоты.

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 и перекрестного тока.

В общем выпуске теплообменных аппаратов для химической и смежных отраслей промышленности в России около 80% занимают кожухотрубчатые теплообменники. Эти теплообменники достаточно просты в изготовлении и надежны в эксплуатации и в то же время достаточно универсальны, т.е. могут быть использованы для осуществления теплообмена между газами, парами, жидкостями в любом сочетании теплоносителей и в широком диапазоне их давлений и температур.

Теплообменники типа «труба в трубе» и змеевиковые стальные в общем объеме теплообменной аппаратуры составляют 8%, а оросительные из чугуна - 2%.

Условия проведения процессов теплообмена в промышленных аппаратах чрезвычайно разнообразны. Эти аппараты применяют для рабочих сред с различным агрегатным состоянием и структурой (газ, пар, капельная жидкость, эмульсия и др.) в широком диапазоне температур, давлений и физико-химических свойств.

Из-за разнообразия предъявляемых к теплообменным аппаратам требований, связанных с условиями их эксплуатации, применяют аппараты самых различных конструкции и типов, причем для аппарата каждого типа разработан широкий размерный ряд поверхности теплообмена. В размерном ряду теплообменники различаются по допускаемым давлениям и температурам рабочей среды, а также по материалам, из которых изготовлен аппарат.

Широкая номенклатура теплообменников по типам, размерам, параметрам и материалам позволяет выбрать для конкретных условий теплообмена аппарат, оптимальный по размерам и материалам. Для выбора конструкции аппарата для определенных условий теплообменного процесса существуют рекомендации общего характера, которыми можно руководствоваться при выборе конструкции теплообменника и схемы движения в нем теплоносителей:

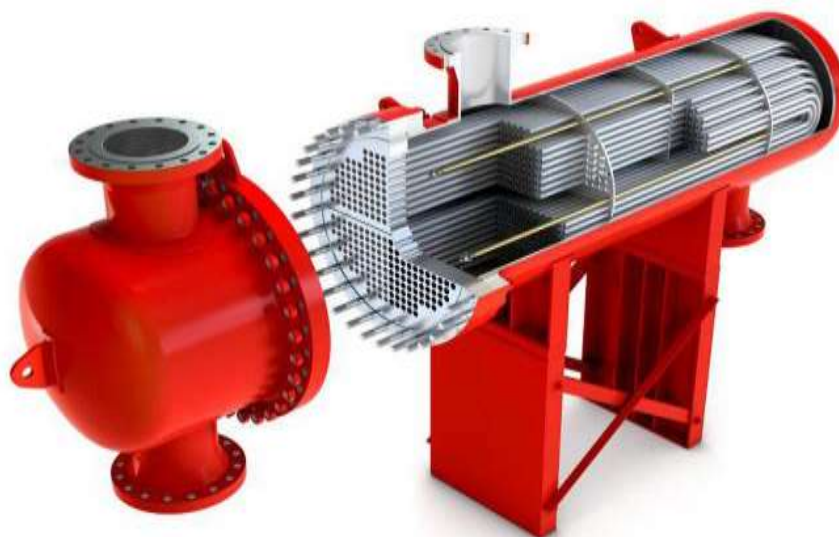
- при высоком давлении теплоносителей предпочтительнее трубчатые теплообменники; в этом случае в трубное пространство желательно направить теплоноситель с более высоким давлением, поскольку из-за малого диаметра трубы могут выдержать большее давление, чем корпус;

- коррозионный теплоноситель в трубчатых теплообменниках целесообразно направлять по трубам, так как в этом случае при коррозионном изнашивании не требуется замена корпуса теплообменника;

- при использовании коррозионных теплоносителей предпочтительнее теплообменные аппараты из полимерных материалов, например фторопласта и его сополимеров, обладающих уникальной коррозионной стойкостью;

- если один из теплоносителей загрязнен или дает отложения, то целесообразно направлять его с той стороны теплообмена, которая более доступна для очистки (в змеевиковых теплообменниках - это наружная поверхность труб, в кожухотрубчатых - внутренняя);

- для улучшения теплообмена не всегда требуется увеличение теплоносителя (так, например, при конденсации паров для улучшения теплообмена необходимо обеспечить хороший отвод конденсата с теплообменной поверхности, для чего следует подобрать аппарат соответствующей конструкции).



1 Кожухотрубчатые теплообменники

Как уже отмечено, кожухотрубчатые теплообменники - наиболее распространенная конструкция теплообменной аппаратуры.

По ГОСТ 9929-82 стальные кожухотрубчатые теплообменные аппараты изготавливают следующих типов:

Н - с неподвижными трубными решетками;

К - с температурным компенсатором на кожухе;

П - с плавающей головкой;

У - с U-образными трубами;

ПК - с плавающей головкой и компенсатором на ней.

Основные параметры и размеры стальных кожухотрубчатых теплообменных аппаратов, применяемых для теплообмена жидких и газообразных сред при температуре от - 60 до + 600 °С (по ГОСТ 9929-82) приведены в таблице 1.1.

Медные кожухотрубчатые аппараты по ГОСТ 1197-77 изготавливают двух типов (Н и К).

В зависимости от назначения кожухотрубчатые аппараты могут быть теплообменниками, холодильниками, конденсаторами и испарителями; их изготавливают одно- и многоходовыми.

Использование стальных, кожухотрубчатых, теплообменных аппаратов различных типов в химических производствах характеризуется приблизительно следующими данными: Н - 75%, К - 15%, У - 3% П и ПК - остальное.

Теплообменник - это конструкторское оборудование и изготавливается только после теплового расчета. В ходе расчета подбирается рама, количество и компоновка пластин, материал уплотнений удовлетворяющее его тепловой нагрузке, температурными графиками и допустимыми потерями по напору.

Любой теплообменник имеет два контура, в которых и осуществляется теплообмен между средами путем конвекции.

Тепловая нагрузка (q) или массовый расход- это количество тепла, которое должно поступать на одну сторону теплообменника и, соответственно, отдаваться его другой стороной. Измеряется в кВт или ккал/ч и определяется проектными организациями.

Если тепловая нагрузка неизвестна, то потребуются параметры массового расхода среды - измеряется в кг/с или кг/ч и означает, какая масса теплоносителя должна пройти через теплообменник в секунду или час.

Если же и массовый расход среды неизвестен, то нужно взять показатель объемного расхода (измеряется в м³/ч или в л/ч) и умножить его на плотность среды.

2 Температурные показатели

Чтобы рассчитать теплообменник, обязательно нужно знать характер изменения температуры рабочей среды обоих контуров, то есть разницу между температурными показателями на входе и выходе из каждого контура. Для этого потребуется указать:

T_1 и T_2 – температуру на входе и выходе горячего контура;

T_3 - T_4 – вход и выход холодного контура.

Чем больше разница между температурами T_1/T_2 и T_3/T_4 – тем дешевле и компактнее теплообменник.

Допустимые потери по напору (Δp) - данный показатель влияет на размеры будущей конструкции – чем он больше, тем компактней теплообменник.

При расчете теплообменника для технологических нужд могут понадобиться характеристики нестандартной среды теплообмена:

- вязкость при температуре на входе и при температуре на выходе
- плотность
- удельная теплоемкость
- теплопроводность.

3 Порядок расчета теплообменного аппарата

Исходными данными для простейшего теплового расчета являются: расход одного из теплоносителей и температуры обоих теплоносителей на входе и на выходе из аппарата. Расчет поверхности теплообмена состоит из следующих основных стадий:

1. Определение тепловой нагрузки аппарата, средней движущей силы и средних температур теплоносителей.
2. Определение расхода второго вещества из теплового баланса.
3. Определение ориентировочной площади поверхности теплообмена, а также выбор размеров теплообменных труб и, если возможно, расчет необходимого их количества при обеспечении заданного режима движения теплоносителей.
4. Предварительный выбор нормализованного теплообменника по принятым параметрам. Выписываются те фиксированные геометрические размеры аппарата, которые будут фигурировать в расчете (внутренний диаметр кожуха, число теплообменных труб и т.д.). Параметры, которые не будут непосредственно участвовать в расчете, можно варьировать для обеспечения расчетной поверхности теплообмена при окончательном выборе нормализованного аппарата.
5. Определение частных коэффициентов теплоотдачи для обоих теплоносителей с использованием критериальных уравнений для соответствующих тепловых процессов, режимов теплоносителей, геометрического расположения труб и т.д. Определение термических сопротивлений стенок и загрязнений со стороны горячего и холодного теплоносителей.
6. Определение общего коэффициента теплопередачи и уточнение температур стенки со стороны горячего и холодного теплоносителей. Пересчет коэффициента теплопередачи.
7. Определение расчетной поверхности теплообмена по основному уравнению теплопередачи и окончательный выбор нормализованного теплообменника. Определение запаса поверхности теплообмена, необходимого для обеспечения длительной работы аппарата, так как на поверхности труб и кожуха образуются разного вида загрязнения (отложение нерас-

творимых осадков, накипеобразование, ржавчина и т.д.), которые снижают эффективность процесса теплообмена, уменьшая коэффициент теплопередачи.

4 Тепловой расчет

Задание

Рассчитать и выбрать кожухотрубчатый нагреватель для охлаждения 15000 кг/ч воздуха от

$t_1' = 400^\circ \text{C}$ до $t_1'' = 50^\circ \text{C}$ при давлении $P = 2,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$

4.1 Определение поверхности нагрева и основных размеров теплообменника.

Поскольку род нагреваемого теплоносителя не задан в условии, принимаем для расчета воду с начальной температурой на входе $t_2' = 10^\circ \text{C}$ и расходом $G_2 = 20 \text{ кг/сек.}$ Вода движется по трубкам, воздух в межтрубном пространстве.

Находим эквиваленты теплоносителей (водяной эквивалент или полная теплоемкость массового расхода теплоносителя – представляет собой произведение массового расхода теплоносителя на удельную теплоемкость):

Эквивалент воздуха

$$W_1 = G_1 \cdot c_1,$$

где G_1 – массовый расход воздуха,

$$G_1 = 15000 \text{ кг/ч} = 15000/3600 = 4,167 \text{ кг/сек.}$$

c_1 – массовая теплоемкость воздуха, определяем по средней температуре воздуха

$$t_{1cp} = (t_1' + t_1'') / 2 = (400 + 50) / 2 = 225^\circ \text{C}$$

по справочнику $c_1 = 1,032 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$;

$$W_1 = 4,167 \cdot 1,032 = 4,3 \text{ кВт} / ^\circ \text{C},$$

Эквивалент для нагреваемого теплоносителя:

$$W_2 = G_2 \cdot c_2,$$

где G_2 – массовый расход воды,

$$G_2 = 20,0 \text{ кг/сек.}$$

c_2 – теплоемкость воды = 4,19 кДж/ кг · К

Поскольку данная величина меняется незначительно при относительно низких температурах, принимаем по справочнику $c_2 = 4,19 \text{ кДж/(кг·К)}$.

$$W_2 = 20 \cdot 4,19 = 83,8 \text{ Вт / } ^\circ\text{C},$$

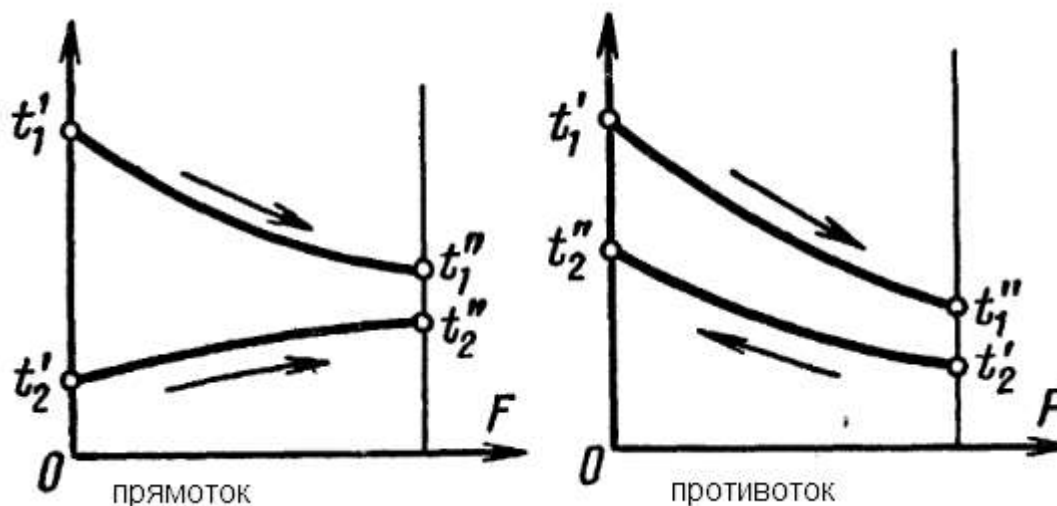
Далее определяем температуру нагреваемого теплоносителя на выходе из аппарата:

$$\frac{t'_1 - t''_1}{t''_2 - t'_2} = \frac{W_2}{W_1},$$

отсюда:

$$t''_2 = \frac{(t'_1 - t''_1) \cdot W_1}{W_2} + t'_2 = \frac{(400 - 50) \cdot 4,3}{83,8} + 10 = 28^\circ\text{C}$$

Выбираем схему движения – *противоток*, т.к. она выгоднее экономически, имея по сравнению с прямоток меньшую поверхность нагрева.



Определяем средний температурный напор:

$$\Delta t = \frac{(t'_1 - t''_2) - (t''_1 - t'_2)}{\ln \frac{(t'_1 - t''_2)}{(t''_1 - t'_2)}} = \frac{(400 - 28) - (50 - 10)}{\ln \frac{(400 - 28)}{(50 - 10)}} = 149^\circ\text{C}$$

Расход теплоты на нагревание воды:

$$Q = c_1 \cdot G_1 \cdot (t'_1 - t''_1) = 1,032 \cdot 4,167 \cdot (400 - 50) = 1505 \text{ кВт}$$

Для ориентировочного определения максимальной поверхности теплооб-

мена необходимо задаться коэффициентом теплопередачи. Принимаем $k = 30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Тогда максимальная поверхность теплообмена составит:

$$F_T = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{1505000}{30 \cdot 149} = 336 \text{ м}^2$$

Средняя температура воды:

$$t_{2cp} = (t'_2 + t''_2) / 2 = (10 + 28) / 2 = 19^\circ \text{C}$$

При этой температуре находим :

плотность воды: $\rho_2 = 995,7 \text{ кг}/\text{м}^3$;

коэффициент теплопроводности: $\lambda_2 = 0,612 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

коэффициент динамической вязкости: $\mu_2 = 801,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Внутренний диаметр трубок теплообменника принимаем: $d_2 = 21 \text{ мм} = 0,021 \text{ м}$

Вычисляем среднюю скорость течения воды в трубках, которая должна быть для обеспечения турбулентного режима:

$$\omega_{2T} = \frac{10000 \cdot \mu_2}{d_2 \cdot \rho_2} = \frac{10000 \cdot 801,5 \cdot 10^{-6}}{0,021 \cdot 995,7} = 0,38 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Число труб на один ход теплообменника при турбулентном режиме:

$$n'_T = \frac{V_2}{0,785 \cdot d_2^2 \cdot \omega_{2T}}$$

где V_2 – объемный расход воды в трубках,

$$V_2 = G_2 / \rho_2 ;$$

$\rho_2 = 995,7 \text{ кг}/\text{м}^3$

$$V_2 = 20 / 995,7 = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$n'_T = \frac{0,02}{0,785 \cdot 0,021^2 \cdot 0,38} = 152 \text{ шт}$$

Задаваясь условиями $F_T < 336 \text{ м}^2$ выбираем наиболее простой кожухотрубный теплообменник со следующими характеристиками:

количество ходов: $z = 1$

площадь поверхности нагрева: $F = 329 \text{ м}^2$;

общее число труб : $n_T = 465 \text{ шт}$;

диаметр кожуха: $D = 800 \text{ мм} = 0,8 \text{ м}$

диаметр труб: $25 \cdot 2$;

длина секции $l = 9\text{ м}$.

4.2. Задачи для тренировки:

1. В противоточном водяном маслоохладителе двигателя внутреннего сгорания масло охлаждается от 65°C до 55°C . Температура охлаждающей воды на входе и выходе соответственно 16°C и 25°C . Расход масла $0,8\text{ кг/с}$. Определить необходимую поверхность теплопередачи охладителя и расход воды, если коэффициент теплопередачи $280\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. Теплоемкость масла $2,46\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

2. Автомобильный радиатор передает от охлаждаемой воды в окружающую среду 40 кДж/с . Средняя температура воды в радиаторе 87°C и охлаждающего воздуха 37°C . Теплорассеивающая поверхность радиатора 5 м^2 . Определить коэффициент теплопередачи.

3. В воздухоподогревателе парового котла с перекрестным током воздух нагревается от 23°C до 250°C , а дымовые газы охлаждаются от 420°C до 180°C . Определить передаваемую в воздухоподогревателе теплоту и поверхность нагрева, если коэффициент теплопередачи $21\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ и расход дутьевого воздуха при давлении $0,1\text{ МПа}$ $60\ 000\text{ м}^3/\text{ч}$. Поправочный коэффициент к температурному напору, определяемому по формуле для противотока, принять равным $0,93$.

Список литературы

1. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Энергетическое использование теплоты : учебник для СПО М. : Издательство Юрайт, 2018.
2. Теплотехника. Практикум: учебное пособие для СПО / В. Л. Ерофеев [и др.] ; под ред. В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — М. : Издательство Юрайт, 2018