

## Оглавление

Введение.....	2
Задание .....	6
Исходные данные .....	6
Расчет.....	7
Определение коэффициента теплоотдачи от трубы к теплому теплоносителю .....	8
Определение коэффициента теплоотдачи от трубы к холодному теплоносителю .....	9
Определение коэффициента теплопередачи.....	10
Определение поверхности теплообмена при наличии накипи .....	11
Заключение .....	12

## **Введение**

Теплопередача – это наука о процессах распространения тепла. Различают три различных способа переноса теплоты: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение. В реальных установках теплота передаётся комбинированным путём, однако вклад этих трёх составляющих в общий перенос теплоты неодинаков и определяется многими условиями: природой теплоносителя, агрегатным состоянием, температурным и гидродинамическим условиям и т.д.

В промышленности теплообмен между рабочими телами (теплоносителями) происходит в специально сконструированных аппаратах, которые называются теплообменниками. Они должны отвечать определённым общим требованиям: обладать высокой тепловой производительностью и экономичностью, обеспечивать заданные технологические условия процесса, быть просты по конструкции, компактны, обладать современным техническим и эстетическим дизайном, иметь длительный срок службы, соответствовать требованиям СНиП и ведомственным правилам Госгортехнадзора. Особые требования предъявляются к обеспечению надёжности работы аппаратов, возможности автоматического регулирования режимно-технологических параметров и аварийного отклонения.

Для обеспечения того или иного технологического процесса применяются различные типы теплообменных аппаратов. Основную группу теплообменных аппаратов, применяемых в промышленности, составляют поверхностные теплообменники, в которых теплота от горячего теплоносителя передается холодному теплоносителю через разделяющую их стенку. Другую группу составляют теплообменники смешения, в которых теплота передается при непосредственном соприкосновении горячего и холодного теплоносителей.

Теплообменные аппараты классифицируются:

1. По назначению:

- а) холодильники;
- б) подогреватели;
- в) испарители;
- г) конденсаторы;

2. По конструкции:

-изготовленные из труб:

- а) теплообменники «труба в трубе»;
- б) оросительные теплообменники;
- в) погружные змеевиковые;
- г) теплообменники воздушного охлаждения;
- д) из оребренных труб;
- е) кожухотрубчатые теплообменники

-с неподвижной трубной решеткой;

-с линзовым компенсатором;

-с плавающей головкой;

-с U-образными трубами;

3. По направлению движения теплоносителя:

- а) прямоточные;
- б) противоточные;
- в) с перекрестным движением.

**Кожухотрубчатые теплообменные** аппараты используются для практической реализации таких процессов, как нагревание (охлаждение), конденсация и испарение. Соответственно аппараты называются теплообменниками, холодильниками, конденсаторами и испарителями.

Теплообменники предназначены для проведения процесса теплообмена между теплоносителями, которые не изменяют своего агрегатного состоя-

ния в процессе теплообмена: это газо-жидкостные и жидкостно-жидкостные аппараты для проведения процессов охлаждения и нагревания.

Холодильники предназначены для охлаждения водой или другими нетоксичными, не пожаро- и не взрывоопасными хладагентами жидких и газообразных сред. Работают, как правило, в области минусовых температур.

В соответствии с ГОСТ 1512019 и 15122-79 кожухотрубчатые теплообменники и холодильники изготавливают двух типов «Н» - с неподвижными трубными решётками и «К» - с компенсатором температурных напряжений на кожухе. Необходимость использования компенсатора определяется предельно-допустимой разностью температур стенок труб и кожуха, равной 50°C или сравнительно большой длиной теплообменных труб (более 6м).

Конденсаторы предназначены для конденсации насыщенных паров. Обычно конденсацию осуществляют на наружной поверхности пучка труб в межтрубном пространстве. В химической промышленности для нагревания жидкостей и газов за счёт теплоты конденсации насыщенных паров чаще всего используется насыщенный водяной пар.

Испарители предназначены для проведения процессов испарения жидкости при кипении. При этом жидкость кипит в трубах, а в межтрубное пространство подаётся греющий агент. В соответствии со стандартом, кожухотрубчатые испарители в этом случае могут быть только одноходовыми и вертикального исполнения.

**Теплообменники типа «труба в трубе».** При сравнительно небольших тепловых нагрузках (малых производительностях по теплоносителям), когда требуемая величина теплопередающей поверхности незначительна (до  $20 \div 40 \text{ м}^2$ ), на практике рекомендуется использовать наиболее простые по

устройству, изготовлению, монтажу и эксплуатации теплообменники. Они изготавливаются в следующих исполнениях:

- неразборные однопоточные малогабаритные;
- разборные одно- и двухпоточные моногабаритные;
- разборные однопоточные;
- неразборные двухпоточные;
- разборные многопоточные.

**В пластинчатых теплообменниках** поверхность теплообмена образуется набором тонких штампованных гофрированных пластин, которые собраны в пакеты и разделены между собой специальной формы и профиля уплотнительной термостойкой резиной. Они могут быть разборными и полуразборными.

**Спиральные теплообменники.** В них поверхность теплопередачи образуется двумя листами (лентами) из углеродистой или легированной стали, свёрнутыми в виде спирали вокруг центральной перегородки.

**Блочные графитовые теплообменники.** Для осуществления процесса теплообмена между агрессивными химически активными теплоносителями пользуются теплообменниками, изготовленными из графита. Наибольшее распространение получили блочные графитовые теплообменники.

.

## Задание

В теплообменнике типа «труба в трубе» определить площадь  $F$  [ м<sup>2</sup> ] поверхности нагрева, если температура теплового теплоносителя составляет  $t'_1$  [ К ], ее расход равен  $m_1$  [ кг/с ]. Теплый теплоноситель (горячая вода или масло) движется по внутренней трубе, выполненной из материала  $b_1$  соответственно с внешним и внутренним диаметрами трубы  $d_2$  и  $d_1$  [ мм ]. Теплопроводность трубы составляет  $\lambda$  [ Вт / (м·К) ]. Нагреваемая жидкость движется по кольцевому каналу между трубами и нагревается от температуры  $t'_2$  до температуры  $t''_2$ . Внутренний диаметр внешней трубы  $D$  [ мм ]. Расход нагреваемой жидкости (холодного теплоносителя)  $m_2$  [ кг/с ].  
Определить также поверхность теплообмена  $F$  [ м<sup>2</sup> ], если труба, по которой течёт горячий теплоноситель покрыта слоем накипи толщиной 0,5 мм и с теплопроводностью  $\lambda = 0,26$  Вт/м·К; Построить графики изменения температур теплоносителей для этих вариантов.

## Исходные данные

$$t_{1'} = 75^\circ\text{C}; \quad t_{2'} = 10^\circ\text{C}; \quad t_{2''} = 55^\circ\text{C}; \quad m_1 = 1.2 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Материал внутренней трубы – сталь;

$$d_1 = 45 \text{ мм}; \quad d_2 = 48 \text{ мм}; \quad D = 78 \text{ мм};$$

$$\lambda = 45 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \quad m_2 = 0.7 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Тип теплообменника - противоток ;

Горячий теплоноситель - вода ;

Холодный теплоноситель - вода ;

## Расчет

Определяем среднюю температуру теплоносителя:

$$t_2 = \frac{(t_{2'} + t_{2''})}{2} = \frac{(10 + 55)}{2} = 32.5^\circ C$$

По средней температуре определяем физические свойства воды

Теплоемкость :

$$c_2 = 4,18 \frac{кДж}{кг \cdot K};$$

Плотность

$$\rho_2 = 995 \frac{кг}{м^3}.$$

Коэффициент кинематической вязкости:

$$\nu_2 = 0.76 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}.$$

Критерий Прандля при температуре жидкости:

$$Pr_2 = 5.11.$$

Коэффициент теплопроводности:

$$\lambda_2 = 0,619 \frac{Вт}{м \cdot K}.$$

Тепловая мощность теплообменника:

$$Q = m_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2''} - t_{2'}) = 0.7 \cdot 4.17 \cdot (55 - 10) = 131.7 кВт$$

Теплоемкость теплого теплоносителя:

$$c_1 = 4.18 \frac{кДж}{кг \cdot K}$$

Конечная температура теплого теплоносителя::

$$t_{1''} = t_{1'} - \frac{Q}{m_1 \cdot c_1} = 75 - \frac{131.7}{1.2 \cdot 4.18} = 48.8^\circ C$$

Определяем среднюю тем-ру теплоносителя:

$$t_1 = \frac{(t_{1'} + t_{1''})}{2} = \frac{(75 + 48.8)}{2} = 61.9^{\circ}\text{C}$$

По средней температуре определяем физические свойства охлаждаемого вещества:

Плотность

$$\rho_1 = 982 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Коэффициент кинематической вязкости:

$$\nu_1 = 0,461 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Критерий Прандтля при температуре жидкости:

$$\text{Pr}_1 = 2.9.$$

Коэффициент теплопроводности:

$$\lambda_1 = 0,653 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Площадь поперечного сечения межтрубного пространства

$$f_m = \pi \cdot \frac{D^2}{4} - \pi \cdot \frac{d_2^2}{4} = 3.14 \cdot \frac{78^2}{4} - 3.14 \cdot \frac{48^2}{4} = 2969 \text{ мм}^2$$

Площадь поперечного сечения трубного пространства

$$f_{mp} = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} = 3.14 \cdot \frac{45^2}{4} = 1590 \text{ мм}^2$$

**Определение коэффициента теплоотдачи от трубы к теплому теплоносителю**

Объемный расход воды:

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{1.2}{982} = 0,00122 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

Скорость теплоносителя в трубе:



$$w_1 = \frac{V_1}{(f_{mp} \cdot 10^{-6})^2} = \frac{0,00122}{(1590 \cdot 10^{-6})^2} = 0.768 \frac{м}{с};$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re_1 = w_1 \cdot \frac{(d_1 \cdot 10^{-3})}{\nu_1} = 0.768 \cdot \frac{(45 \cdot 10^{-3})}{0,461 \cdot 10^{-6}} = 75001;$$

Т.к  $Re_1 < 10000$ , значит режим течения жидкости – турбулентный.

Принимаем температуру стенки:

$$t_{cm} = \frac{(t_2 + t_1)}{2} = \frac{(32.5 + 61.9)}{2} = 47.2^\circ C.$$

Критерий Прандля при температуре стенки:

$$Pr_{cm} = 3.78$$

Находим критерий Нуссельта:

$$Nu_1 = 0,023 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_1}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} = 0,023 \cdot 75001^{0,8} \cdot 2.9^{0,43} \cdot \left( \frac{2.9}{3.78} \right)^{0,25} = 270.3$$

Определяем коэф-т теплоотдачи :

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1 \cdot 10^{-3}} = \frac{270.3 \cdot 0,653}{45 \cdot 10^{-3}} = 3922 \frac{Вт}{м^2 \cdot К};$$

**Определение коэффициента теплоотдачи от трубы к холодному теплоносителю**

Смоченный периметр:

$$u = \pi \cdot D + \pi \cdot d_2 = 3.14 \cdot 78 + 3.14 \cdot 48 = 395.8 \text{ мм}.$$

Эквивалентный диаметр межтрубного пространства:

$$d_3 = 4 \cdot \frac{f_m}{u} = 4 \cdot \frac{2969}{395.8} = 30 \text{ мм}.$$

Объемный расход:

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{0.7}{995} = 0.0007 \frac{м^3}{с}.$$

Скорость вещества:

$$w_2 = \frac{V_2}{(f_m \cdot 10^{-6})} = \frac{0,0007}{(2969 \cdot 10^{-6})} = 0,237 \frac{м}{с}.$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re_2 = w_2 \cdot \frac{(d_2 \cdot 10^{-3})}{\nu_2} = 0,237 \cdot \frac{(30 \cdot 10^{-3})}{0,76 \cdot 10^{-6}} = 9354,1.$$

Т.к.  $Re_2 > 10000$  значит режим течения жидкости – турбулентный

Находим критерий Нуссельта:

$$Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} = 0,023 \cdot 9354,1^{0,8} \cdot 5,11^{0,43} \cdot \left( \frac{5,11}{3,78} \right)^{0,25} = 75,1$$

Определяем коэф-т теплоотдачи:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2 \cdot 10^{-3}} = \frac{75,1 \cdot 0,619}{30 \cdot 10^{-3}} = 1550 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

### Определение коэффициента теплопередачи

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \left( \frac{d_2}{d_1} \right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot (d_2 \cdot 10^{-3})}} =$$

$$\frac{1}{\frac{1}{3922 \cdot 45 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2 \cdot 45} \cdot \ln \left( \frac{48}{45} \right) + \frac{1}{1550 \cdot (48 \cdot 10^{-3})}} = 50,5 \frac{Вт}{м \cdot К}$$

Средний температурный напор для противотока :

$$\Delta t_m = t_{1'} - t_{2''} = 75 - 55 = 20^\circ C$$

$$\Delta t_{\theta} = t_{1''} - t_{2'} = 48,8 - 10 = 38,8^\circ C.$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_{\theta} - \Delta t_m)}{\ln \left( \frac{\Delta t_{\theta}}{\Delta t_m} \right)} = \frac{(38,8 - 20)}{\ln \left( \frac{38,8}{20} \right)} = 28,3^\circ C$$

Линейная плотность теплового потока:

$$q_L = k \cdot \Delta t_{cp} = 50,5 \cdot 28,3 = 1430,3 \frac{Вт}{м}$$

Необходимая длина трубы теплообменника:

$$L = \frac{Q}{q_L} = \frac{131.7}{1430.3} = 0.092 \text{ м}$$

Площадь поверхности нагрева:

$$F = \pi \cdot d_1 \cdot 10^{-3} \cdot L = 3.14 \cdot 45 \cdot 10^{-3} \cdot 0.092 = 0.013 \text{ м}^2$$

### Определение поверхности теплообмена при наличии накипи

Толщина накипи:

$$\delta_H = 0.5 \text{ мм}$$

Коэффициент теплопроводности слоя накипи:

$$\lambda_H = 0,26 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_H} \cdot \ln\left(\frac{d_2 + 2 \cdot \delta_H}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 \cdot (d_2 + 2 \cdot \delta_H) \cdot 10^{-3}}} =$$
$$\frac{1}{3922 \cdot 45 \cdot 10^{-3} + \frac{1}{2 \cdot 45} \cdot \ln\left(\frac{48}{45}\right) + \frac{1}{2 \cdot 0.26} \cdot \ln\left(\frac{48 + 2 \cdot 0.5}{48}\right) + \frac{1}{1550 \cdot (48 + 2 \cdot 0.5) \cdot 10^{-3}}} =$$
$$= 16.9 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Линейная плотность теплового потока:

$$q_L = k \cdot \Delta t_{cp} = 16.9 \cdot 28.3 = 478.9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}};$$

Необходимая длина трубы теплообменника:

$$L = \frac{Q}{q_L} = \frac{131.7}{478.9} = 0.275 \text{ м};$$

Площадь поверхности нагрева:

$$F = \pi \cdot d_1 \cdot 10^{-3} \cdot L = 3.14 \cdot 45 \cdot 10^{-3} \cdot 0.275 = 0.039 \text{ м}^2;$$

## **Заключение**

При выполнении курсовой работы был произведен расчет теплообменника типа «труба-в-трубе» для двух вариантов:

- трубы без накипи
- трубы с накипью

По результатам расчетов видно, что при наличии накипи на поверхностях теплообмена, требуемая длина теплообменника увеличивается более чем в 4 раза.

## Литература

1. Теплотехника: Учеб. для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Кемфер и [др.]; под ред. В.Н. Луканина – 5-е изд., стер. [Текст] – М.: Высш. шк., 2005. – 671 с.
2. Нащокин В.Е. Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб. пособие для вузов – 3-е изд., испр. и доп. [Текст] – М.: Высш. шк., 1981-491 с.
3. Теплотехника: Учеб. пособие / М.М. Хазен, Г.А. Матвеев, М.Е. Грицевский, Ф.П. Казакевич; Под ред. Г.А. Матвеева [Текст] – М.: Высш. шк., 1981. – 491 с.
4. Гидравлика и теплотехника. Курс лекций / Ч.2. Техническая термодинамика [Текст] – Рязань: РВВАИУ, 1988. – 181 с.
5. Костерев Ф.М., Кушнырев В.Н. Теоретические основы теплотехники: Учебник [Текст] – М.: Энергия, 1978. – 360 с.
6. Ерохин В.Г., Маханько В.Г. Сборник задач по основам теплотехники и гидравлики / Учеб. пособие [Текст] – М.: Энергия, 1972. – 176 с.
7. Тепловые расчеты: Методические указания на выполнение курсовой работы / А.Ю. Коньков [Текст] – Хабаровск: ДВГУПС, 2003. – 22 с.
8. Мозжухин А.Б., Сергеева Е.А. Расчет теплообменника: Методические указания [Текст] – Тамбов: ТГТУ, 2006. – 26 с.
9. Бальян С.В. Техническая термодинамика и тепловые двигатели / Уч. пособие для студентов вузов [Текст] – Л.: «Машиностроение», 1973. – 304 с.