

## РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Научный руководитель: **Бобоев Х.Х.**

Зав. Кафедрой ТМ Алмалыкского филиала ТГТУ им. И. Каримова

**Шербўтаев Ж.А.**

ст. преп. ТМ Алмалыкского филиала ТГТУ им. И. Каримова

**Хасанов Б.Б.**

Ассистенты кафедры ТМ Алмалыкского филиала ТГТУ им. И. Каримова

**Абдурафиков Б.А.**

студент группы 7А-19 МТ Алмалыкского филиала ТГТУ им. И. Каримова

**Абдашимова М.М.**

студент группы 7А-20 МТ Алмалыкского филиала ТГТУ им. И. Каримова

## CALCULATION OF WATER HEAT EXCHANGER TYPE "PIPE IN PIPE"

Scientific adviser: **Boboev Kh.Kh.**

Head Department of TM Almalyk branch of TSTU. I. Karimova

**Sherbutaev Zh.A.**

Art. teacher TM Almalyk branch of TSTU named after I. Karimova

**Khasanov B.B.**

Assistants of the department of TM of the Almalyk branch of TSTU. I. Karimova

**Abdurafikov B.A.**

student of the 7A-19 MT group of the Almalyk branch of the TSTU. I. Karimova

**Abdashimova M.M.**

student of the 7A-20 MT group of the Almalyk branch of the TSTU. I. Karimova

### 1. Задание на проектирование водяного теплообменника типа «труба в трубе»

Произвести тепловой расчет водяного теплообменника типа «труба в трубе». Определить площадь поверхности нагрева и число секций противоточного теплообменника при следующих условиях:

- 1) коэффициент теплопроводности стальной трубы  $\lambda_{ст} = 51 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ ;
- 2) длина одной секции  $l = 4 \text{ м}$ ;
- 3) температура греющей воды на входе  $t_{ж1}' = 125 \text{ °C}$ ;
- 4) температура греющей воды на выходе  $t_{ж1}'' = 75 \text{ °C}$ ;
- 5) греющая вода движется по внутренней стальной трубе диаметром  $d_2/d_1 = 38/34 \text{ мм}$ ;
- 6) температура нагреваемой воды на входе  $t_{ж2}' = 20 \text{ °C}$ ;
- 7) температура греющей воды на выходе  $t_{ж2}'' = 60 \text{ °C}$ ;
- 8) диаметр внешней трубы  $D_2/D_1 = 57/51$ ;
- 9) количество передаваемой теплоты  $Q = 100 \text{ кВт}$ .

### 2. Пример расчета водо-водяного теплообменника типа «труба в трубе»

Расчет теплообменника начинаем с определения физических свойств греющего и нагреваемого теплоносителей, для чего находим среднеарифметические значения их температур

$$t_{ср1} = 0,5(t_{ж1}' + t_{ж1}'') = 0,5(125 + 75) = 100 \text{ °C};$$

$$t_{ср2} = 0,5(t_{ж2}' + t_{ж2}'') = 0,5(20 + 60) = 40 \text{ °C}.$$

По табл. 2 (прил. 2) выписываем физические свойства воды при соответствующих температурах и их значения вписываем в табл.1.

Таблица 1

Физические характеристики теплоносителей

Физические величины	Для воды	
	при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	при $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	$\rho_{\text{в}} = 992,2$	$\rho_{\text{в}} = 958,4$
Теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$	$c_{\text{п}} = 4,174$	$c_{\text{п}} = 4,22$
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$	$\lambda_{\text{ж}2} = 0,635$	$\lambda_{\text{ж}1} = 0,683$
Кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$	$\nu_{\text{ж}2} = 0,659 \cdot 10^{-6}$	$\nu_{\text{ж}1} = 0,295 \cdot 10^{-6}$
Критерий Прандтля для среды	$\text{Pr}_{\text{ж}2} = 4,31$	$\text{Pr}_{\text{ж}1} = 1,75$

Из уравнения теплового баланса определяем расходы теплоносителей

Определяем скорость движения греющей воды

$$Q = G_1 c_{p1} (t'_1 - t''_1) = G_2 c_{p2} (t''_{\text{ж}2} - t'_{\text{ж}2});$$

$$G_1 = \frac{Q}{c_{p1} (t'_1 - t''_1)} = \frac{100}{4,22(125 - 75)} = 0,47 \text{ кг/с};$$

$$G_1 = \frac{Q}{c_{p2} (t''_2 - t'_2)} = \frac{100}{4,174(60 - 20)} = 0,6 \text{ кг/с}.$$

$$\omega_1 = \frac{4G_1}{\nu_{\text{ж}1} \pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,47}{958,4 \cdot 3,14 \cdot 0,034^2} = 0,54 \text{ м/с}.$$

Определяем скорость движения нагреваемой воды

$$\omega_2 = \frac{4G_2}{\rho_{\text{ж}2} \pi (D_1^2 - d_2^2)} = \frac{4 \cdot 0,6}{992,2 \cdot 3,14 \cdot (0,051^2 - 0,038^2)} = 0,67 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса для потока греющей воды

$$\text{Re}_{\text{ж}1} = \frac{\omega_1 d_1}{\nu_{\text{ж}1}} = \frac{0,54 \cdot 0,034}{0,295 \cdot 10^{-6}} = 62237.$$

Так как число  $\text{Re} > 10^4$ , режим течения турбулентный, поэтому расчет числа Нуссельта ведем по следующему выражению:

$$\text{Nu}_{\text{ж}1} = 0,021 \cdot \text{Re}_{\text{ж}1}^{0,8} \text{Pr}_{\text{ж}1}^{0,43} \left( \frac{\text{Pr}_{\text{ж}1}}{\text{Pr}_{\text{cl}}} \right)^{0,25}.$$

Так как температура стенки неизвестна, то в первом приближении задаемся ее значением

$$t_{\text{cl}} \approx 0,5(t_{\text{cp1}} + t_{\text{cp2}}) = 0,5(100 + 40) = 70\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Число Прандтля по температуре стенки  $t_{\text{ct1}} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .  $\text{Pr} = 2,55$ .

Число Нуссельта со стороны греющей воды

$$\text{Nu}_{\text{ж}1} = 0,021 \cdot 62237^{0,8} (1,75)^{0,43} \left( \frac{1,75}{2,55} \right)^{0,25} = 166,4.$$

Находим коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубы

$$\alpha_1 = \text{Nu}_{\text{ж}1} \frac{\lambda_{\text{ж}1}}{d_1} = 166,4 \frac{0,683}{0,034} = 3342,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

Число Рейнольдса для потока нагреваемой воды

$$Re_{ж2} = \frac{\omega_2 d_3}{v_{ж2}} = \frac{0,67 \cdot 0,013}{0,659 \cdot 10^{-6}} = 13217,$$

где  $d_3 = D_1 - d_2 = 0,051 - 0,038 = 0,013$  м

Так как число  $Re > 10^4$ , режим движения жидкости турбулентный.

Принимаем в первом приближении температуру стенки со стороны нагреваемой воды

$$t_{c2} = t_{c1} = 70^\circ\text{C}.$$

Число Прандтля по принятой температуре стенки

$$Pr_{c2} = Pr_{c1} = 2,55.$$

Число Нуссельта со стороны нагреваемой воды определяем по выражению

$$\begin{aligned} Nu_{ж2} &= 0,017 Re_{ж2}^{0,8} \cdot Pr_{ж2}^{0,4} \left( \frac{Pr_{ж2}}{Pr_{c2}} \right)^{0,25} \left( \frac{D_1}{d_2} \right)^{0,18} = \\ &= 0,017 (13217)^{0,8} \cdot 4,31^{0,4} \left( \frac{4,31}{2,55} \right)^{0,25} \left( \frac{0,051}{0,038} \right)^{0,18} = 72,6. \end{aligned}$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде

$$\alpha_2 = Nu_{ж2} \frac{\lambda_{ж2}}{d_3} = 72,6 \frac{0,635}{0,013} = 3546,2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Так как  $d_2/d_1 < 2$ , то расчет коэффициента теплопередачи можем вести по уравнению плоской стенки, где

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C};$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{3342,7} + \frac{0,002}{51} + \frac{1}{3546,2}} = 1612,$$

где  $\delta = d_1 - d_2/2$  — толщина стенки;  $\delta = 0,038 - 0,034/2 = 0,002$  м. Определяем наибольший и наименьший температурные напоры

$$\Delta t_{\delta} = t'_{ж1} - t''_{ж2} = 125 - 75 = 50 \text{ °C};$$

$$\Delta t_M = t''_{ж1} - t'_{ж2} = 60 - 20 = 40 \text{ °C}.$$

Рассчитываем средний логарифмический температурный напор

$$t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}} = \frac{50 - 40}{\ln \frac{50}{40}} = 44,8 \text{ °C}.$$

Определяем плотность теплового потока

$$q = K \Delta t_{cp} = 1612 \cdot 44,8 = 72217,6 \text{ Вт/м}^2.$$

Площадь поверхности нагрева

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{100 \cdot 10^3}{72217,6} = 1,38 \text{ м}^2.$$

Определяем число секций

$$n = \frac{F}{\pi d_1 l} = \frac{1,38}{3,14 \cdot 0,034 \cdot 4} = 3,23 \approx 3.$$

Находим температуру стенки трубы со стороны греющей воды

$$t_{c1} = t_{cp1} - \frac{q}{\alpha_1} = 100 - \frac{72217}{3342,7} = 78,4 \text{ °C}.$$

Число Прандтля при этой температуре находим по табл. 2 (прил. 2)  $Pr = 2,26$ . [1]

Уточненное значение поправки на изменение физических свойств греющей жидкости



$$\left(\frac{Pr_{ж1}}{Pr'_{c2}}\right)^{0,25} = \left(\frac{1,75}{2,26}\right)^{0,25} = 0,938.$$

В первом приближении было принято  $\left(\frac{Pr_{ж1}}{Pr_{c1}}\right)^{0,25} = \left(\frac{1,75}{2,55}\right)^{0,25} = 0,91.$

Находим температуру стенки трубы со стороны греющей воды

$$t_{c2} = t_{cp2} + \frac{q}{\alpha_2} = 40 + \frac{72\,217}{3546,2} = 60,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Число Прандтля при этой температуре находим по табл. 2 (прил. 2)  $Pr = 2,96.$

Уточненное значение поправки на изменение физических свойств нагреваемой жидкости

$$\left(\frac{Pr_{ж2}}{Pr'_{c2}}\right)^{0,25} = \left(\frac{4,31}{2,96}\right)^{0,25} = 1,1.$$

В первом приближении было принято  $\left(\frac{Pr_{ж2}}{Pr_{c2}}\right)^{0,25} = \left(\frac{4,31}{2,55}\right)^{0,25} = 1,14.$

Определяем невязки между уточненными и принятыми значениями физических величин теплоносителей. Если невязка составляет не более 5 %, перерасчет не требуется. В случае несоблюдения этого условия следует произвести перерасчет, задавшись посчитанным значением температуры стенки.

Так как уточненное значение поправки греющего теплоносителя не отличается от принятого более чем на 5%, то производить перерасчет во втором приближении не требуется.

## Литература

1. Фролов В. Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» / В. Ф. Фролов. СПб.: Химиздат, 2003. – 608
2. [Электронный ресурс] – 2010. - Режим доступа: [www.bauklima.ru/](http://www.bauklima.ru/), свободный.
3. Фролов В. Ф. Конструкции и выбор теплообменных аппаратов [Электронный ресурс] В. Ф. Фролов, Р.Ш. Абиев / Новый справочник химика и технолога. – 2009. - Режим доступа: [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/1\\_0\\_protssy\\_i\\_apparatu\\_khimicheskikh\\_tekhnologiy](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/1_0_protssy_i_apparatu_khimicheskikh_tekhnologiy), свободный. – Загл. с экрана.
4. Архаров А.М., Сычев В.В. Еще раз к вопросу о реальных величинах энергетических потерь // Холодильная техника. 2006. №11.
5. [Электронный ресурс] – 2010. - Режим доступа: <http://geamashimpeks.ru/>, свободный.
6. Романков П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): учеб. пособие для вузов / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк. – 3-е изд., испр. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2009. – 496 с.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г.С. Борисов [и др.] 2-изд., -М.: Химия, 1991. -496 с.