

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич

Должность: ректор

Дата подписания: 25.09.2022 16:38:45

Уникальный программный ключ:

9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра теплогазоводоснабжения



ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ КОЖУХОТРУБЧАТОГО ВОДО- ВОДЯНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Методические указания и задания к практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов очной и заочной формы обучения направлений подготовки 08.03.01 «Строительство», 08.04.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Курск 2017 г.

УДК 536.2

Составители: В.А. Жмакин, Н.С. Кобелев, Е.М. Кувардина

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры
теплогазоводоснабжения В.С. Ежов

Тепловой расчёт кожухотрубчатого водо-водяного подогревателя: методические указания и задания к практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов очной и заочной формы обучения направлений подготовки 08.03.01 «Строительство», 08.04.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.А. Жмакин, Н.С. Кобелев, Е.М. Кувардина. – Курск, 2017. – 19 с.: ил. 3, табл. 1, прилож. 2. – Библиогр.: с. 17.

Приводятся задания к практическим занятиям и самостоятельной работе по тепловому расчету рекуперативных теплообменных аппаратов, исходные данные по вариантам заданий, пример расчета теплообменного аппарата, необходимый справочный материал в виде таблиц по физическим свойствам воды.

Методические указания предназначены для студентов направлений подготовки 08.03.01 «Строительство», 08.04.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» очной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл. печ.л. Уч. изд.л. Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Задание к расчетной работе.....	5
Расчетная часть.....	6
Библиографический список.....	17
Приложения.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Теплообменными аппаратами или теплообменниками (ТО) принято называть устройства, предназначенные для передачи количеств теплоты от одного теплоносителя к другому.

Теплообменные аппараты получили широкое распространение как в энергетике, так и в различных отраслях промышленности. Особенно существенной является их роль в системах централизованного теплоснабжения (ТЭЦ или котельных) тепловых сетей и местных систем потребления тепла (отопления, вентиляции и горячего водоснабжения).

В системах теплоснабжения применяются только рекуперативные теплообменники, в которых теплоносители разделены стенкой – поверхностью нагрева.

Тепловые расчёты теплообменных аппаратов могут быть проектными и поверочными.

Проектные (конструктивные) тепловые расчёты проводятся при проектировании новых теплообменных аппаратов и имеют своей целью определение необходимой поверхности нагрева, поверочные тепловые расчёты выполняются в случае, если известна поверхность нагрева теплообменного аппарата. Цель поверочного расчёта – определение конечных температур рабочих жидкостей.

В самостоятельной работе предлагается выполнить тепловой расчёт многосекционного кожухотрубного водо-водяного подогревателя.

Цель работы состоит в том, чтобы закрепить основные понятия и представления учения о теплообмене, научиться практическому использованию критериальных уравнений для определения коэффициентов теплоотдачи, освоить методику конструктивного теплового расчёта теплообменного аппарата.

Выполненная работа должна состоять из отчёта.

При выполнении расчетной работы расчеты необходимо оформить в следующем виде: расчетная формула – формула с числовыми значениями всех входящих величин – результат вычисления (результаты промежуточных расчетов по формуле не приводить!) – единицы измерения рассчитываемой величины.

1. ЗАДАНИЕ К РАСЧЕТНОЙ РАБОТЕ

Горячий теплоноситель, протекает по латунным трубкам с наружным диаметром $d_2 = 16$ мм, толщина стенки трубки 1 мм. Пучок из n трубок заключен в корпус (кожух), внутренний диаметр которого составляет D мм. В межтрубном пространстве протекает нагреваемая вода. Расчетная длина секции теплообменника l . При расчете потерями теплоты с внешней поверхности корпуса теплообменника пренебречь.

Исходные данные необходимо взять из приложения в табл. П.1. Перед решением задач необходимо разобрать условие задачи и по последней (П) и предпоследней цифрам (ПП) учебного шифра выбрать в таблицах свои исходные данные (табл. П.1).

Необходимо определить:

- тепловую мощность подогревателя;
- температуру греющей воды на выходе из подогревателя;
- коэффициент теплоотдачи от греющей воды к внутренней поверхности трубки;
- коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности трубки к нагреваемой воде;
- коэффициент теплопередачи от греющей воды к нагреваемой воде через разделяющую их поверхность латунных трубок;
- среднелогарифмический температурный напор между теплоносителями;
- поверхность нагрева теплообменного аппарата; число секций.

В конце расчета уточнить длину одной секции с учетом принятого числа секций, а также проверить правильность первоначального выбора температур поверхностей теплопередающей стенки.

Отчет о проделанной работе должен включать:

- исходные данные;
- расчетная схема теплообменника (рис. 1);
- все расчетные действия;
- график изменения температур теплоносителей по длине теплообменника (рис. 2);
- график изменения температуры на расчетном участке теплопередачи трубки теплообменника (рис. 3);
- список использованной литературы.

2. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Порядок проведения теплового расчета теплообменника покажем на конкретном примере.

1) Изобразим расчетную схему кожухотрубчатого теплообменника (рис. 1).

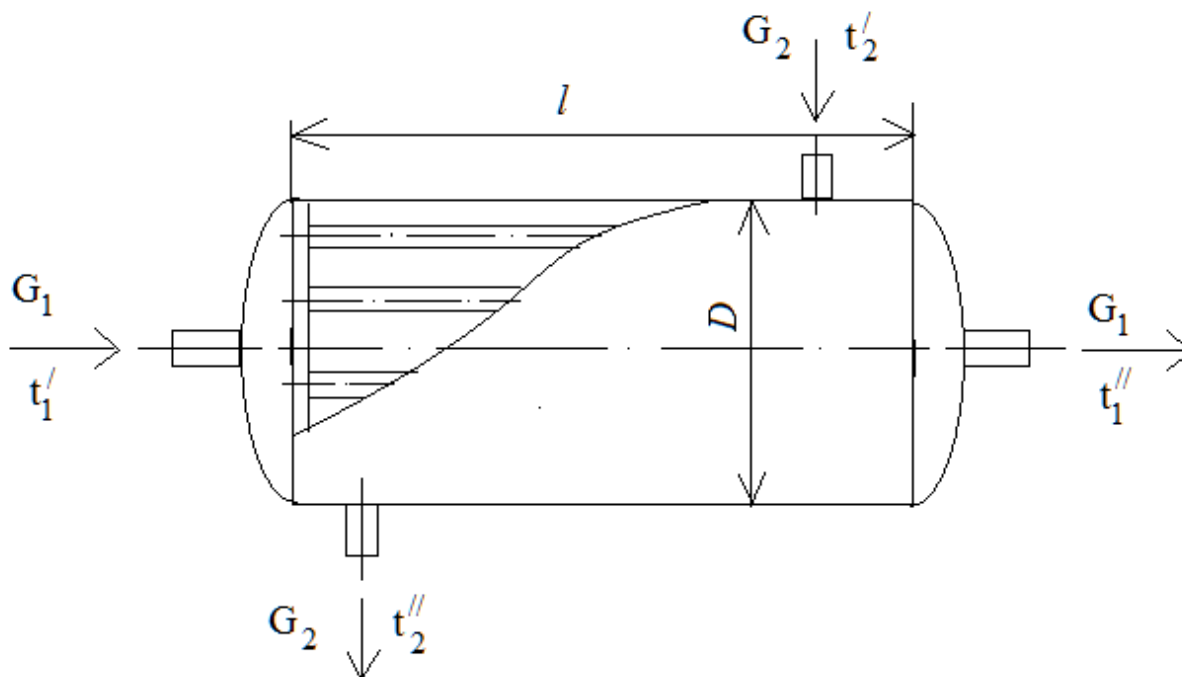


Рис.1. Расчетная схема кожухотрубчатого теплообменника

Приведем расчет варианта со следующими исходными данными:

- расход греющей воды $G_1=15500$ кг/час;
- температура греющей воды на входе в ТО $t_1=80^\circ\text{C}$;
- расход нагреваемой воды $G_2=18000$ кг/час;
- температура нагреваемой воды на входе в ТО $t_2=5^\circ\text{C}$;
- температура нагреваемой воды на выходе из ТО $t_2''=60^\circ\text{C}$;
- коэффициент теплопроводности материала стенок трубок $\lambda=104,5$ Вт/м $^\circ\text{C}$;
- расчётная длина секции $l = 4$ м;
- внутренний диаметр корпуса секции $D = 106$ мм;
- наружный / внутренний диаметры трубок $d_2/d_1 = 16/14$ мм
- число трубок в секции $n = 19$;
- наружный / внутренний диаметры трубок $d_2/d_1 = 16/14$ мм.

2) Исходные данные для расчета сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение, ед. изм.	Величина
1	Расход греющей воды	G_1 , кг/ч	15500
2	Температура греющей воды на входе	t'_1 , °C	80
4	Расход нагреваемой воды	G_2 , кг/ч	18000
5	Температура нагреваемой воды на входе	t'_2 , °C	5
6	Температура нагреваемой воды на выходе	t''_2 , °C	60
7	Коэффициент теплопроводности латунных трубок	λ , Вт/(м°C)	104,5
8	Расчетная длина трубной секции	l , м	4
9	Наружный / внутренний диаметры трубок	d_2/d_1 , мм	16/14
10	Внутренний диаметр корпуса секции	D , мм	106
11	Число трубок в секции	n , шт	19

Решение:

3) Тепловая мощность подогревателя определяется из уравнения теплового баланса для нагреваемого теплоносителя:

$$Q = G_2 \cdot C_{p2} (t_2'' - t_2'), \quad (1)$$

где G_2 – массовый расход нагреваемой воды, кг/ч, (см. табл.1);

1/3600 – коэффициент пересчета часового массового расхода в секундный массовый расход;

t_2' - температура на входе в теплообменник нагреваемой воды, °C, (см. в табл.1);

t_2'' – температура на выходе из теплообменника нагреваемой воды, °C, (см. в табл.1);

где $C_{p2} = 4,174$ кДж/(кг·°C) – теплоемкость нагреваемой воды, предварительно определяется по таблице П.2 “Физические свойства воды на линии насыщения” (см. в приложении) при средней температуре нагреваемой воды:

$$\bar{t}_2 = \frac{t_2'' + t_2'}{2} = (60 + 5) / 2 = 32,5 \text{ °C}. \quad (2)$$

Итак, определим тепловую мощность подогревателя:

$$Q = \frac{18000}{3600} 4,174(60 - 5) = 1147 \text{ кВт.}$$

4) Температура греющей воды на выходе из теплообменника t''_1 определяется из уравнения теплового баланса для греющей воды:

$$Q = G_1 C_{\delta 1} (t'_1 - t''_1),$$

отсюда

$$t''_1 = t'_1 - \frac{Q}{G_1 C_{\delta 1}} = 80 - \frac{1147}{\frac{15500}{3600} 4,174} = 16,2^\circ\text{C}, \quad (3)$$

где $C_{p1}=4,174$ кДж/кг $^\circ\text{C}$ – теплоемкость греющей воды определяется при средней температуре греющей воды $\bar{t}_1 \sim 50^\circ\text{C}$ по таблице П.2 “Физические свойства воды на линии насыщения” (см. в приложении).

5) Определяется средняя температура греющего теплоносителя \bar{t}_1 и сравнивается с первоначально принятой 50°C . Если разница существенна, то расчет теплоемкости C_{p1} повторяется и температура греющей воды на выходе из подогревателя уточняется:

$$\bar{t}_1 = \frac{t'_1 + t''_1}{2} = \frac{80 + 16,2}{2} = 48,1^\circ\text{C} \quad (4)$$

Из расчета видно, что средняя температура греющего теплоносителя $\bar{t}_1 = 48,1^\circ\text{C}$ отличается от первоначально принятой 50°C на 3,8%, следовательно, надо выполнить пересчет:

$$\delta t_1 = \frac{\Delta t}{t_1} = \left| \frac{48,1 - 50}{50} \right| \cdot 100\% = 3,8\% \quad (5)$$

Определяем теплоемкость греющей воды по таблице П.2 “Физические свойства воды на линии насыщения” (см. в приложении) при средней температуре воды $\bar{t}_1 = 48,1^\circ\text{C}$.

Так как теплоемкость воды при $48,1^\circ\text{C}$ не отличается от той, что при 50°C ($C_{p1}=4,174$ кДж/кг $^\circ\text{C}$), то пересчет температуры t''_1 не выполняем, и окончательно принимаем среднюю температуру греющей воды $\bar{t}_1 = 48,1^\circ\text{C}$.

б) Определение коэффициента теплоотдачи α_1 от греющей воды к внутренней поверхности трубок.

6.1) Определяем теплофизические характеристики греющей воды определим при средней температуре $\bar{t}_1 = 48,1$ °C интерполяцией по таблице П.2 “Физические свойства воды на линии насыщения” (см. в приложении):

плотность горячей воды:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \frac{\rho_1|_{50^\circ\text{C}} - \rho_1|_{40^\circ\text{C}}}{10} \Delta t + \rho_1|_{40^\circ\text{C}} = \\ &= \frac{988 - 992,2}{10} (48,1 - 40) + 992,2 = 988,9 \text{ кг/м}^3; \end{aligned} \quad (6)$$

коэффициент кинематической вязкости:

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \frac{\nu_1|_{50^\circ\text{C}} - \nu_1|_{40^\circ\text{C}}}{10} \Delta t + \nu_1|_{40^\circ\text{C}} = \\ &= \frac{0,556 \cdot 10^{-6} - 0,659 \cdot 10^{-6}}{10} 8,1 + 0,659 \cdot 10^{-6} = 0,575 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \end{aligned} \quad (7)$$

коэффициент теплопроводности воды:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{\lambda_1|_{50^\circ\text{C}} - \lambda_1|_{40^\circ\text{C}}}{10} \Delta t + \lambda_1|_{40^\circ\text{C}} = \\ &= \frac{0,648 - 0,635}{10} 8,1 + 0,635 = 0,646 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}; \end{aligned} \quad (8)$$

критерий Прандтля горячей воды при t_1 :

$$\begin{aligned} \text{Pr}_1 &= \frac{\text{Pr}_1|_{50^\circ\text{C}} - \text{Pr}_1|_{40^\circ\text{C}}}{10} \Delta t + \text{Pr}_1|_{40^\circ\text{C}} = \\ &= \frac{3,54 - 4,31}{10} 8,1 + 4,31 = 3,68. \end{aligned} \quad (9)$$

6.2) Скорость движения греющей воды внутри латунных трубок:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{4G_1}{n \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot \rho_1} = \\ &= \frac{15500 \cdot 4}{19 \cdot 3,14 \cdot 14^2 \cdot 10^{-6} \cdot 988,9 \cdot 3600} = 1,49 \text{ м/с}. \end{aligned} \quad (10)$$

6.3) Число Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 d_1}{\nu_1} = \frac{1,49 \cdot 14 \cdot 10^{-3}}{0,575 \cdot 10^{-6}} = 36300. \quad (11)$$

Если $Re > 10^4$, то режим движения жидкости турбулентный.

6.4) Для турбулентного режима движения теплоносителей справедливо следующее критериальное уравнение:

$$Nu_1 = 0,021 Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \left(\frac{Pr_1}{Pr_{\dot{\theta}}} \right)^{0,25}, \quad (12)$$

где Nu_1 - число Нуссельта греющей воды, $Pr_{ст}$ - число Прандтля воды при средней температуре стенки t_{cm} : (найденно по таблице П.2 “Физические свойства воды на линии насыщения” в приложении):

$$\text{при } t_{ст} = 0,5(\bar{t}_1 + \bar{t}_2) = 0,5(48,1 + 32,5) = 40,35^\circ\text{C} \quad Pr_{ст} = 4,31;$$

Определяем критерий Нуссельта по формуле (12):

$$Nu_1 = 0,021 \cdot 36300^{0,8} \cdot 3,68^{0,43} \left(\frac{3,68}{4,31} \right)^{0,25} = 157.$$

6.5) Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к внутренней поверхности латунных трубок определяется из формулы:

$$Nu = \frac{\alpha_1 \cdot l}{\lambda_1},$$

где l – определяющий размер, в данном случае принимается равным внутреннему диаметру латунных трубок:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} = \frac{157 \cdot 0,646}{14 \cdot 10^{-3}} = 7244 \text{ Вт/м}^2\text{°C}. \quad (13)$$

7) Определение коэффициента теплоотдачи α_2 от внешней поверхности латунных трубок к нагреваемой воде.

7.1) Определим теплофизические характеристики нагреваемой воды аналогично п/п. 4.1 при средней температуре $\bar{t}_2 = 32,5$ °С:

плотность воды $\rho_2 = 994,8$ кг/м³;

коэффициент кинематической вязкости $\nu_2 = 0,768 \cdot 10^{-6}$ м²/с;

коэффициент теплопроводности воды $\lambda_2 = 0,628$ Вт/м°С;

критерий Прандтля $Pr_2 = 5,14$.

7.2) Эквивалентный диаметр сечения межтрубного пространства, м:

$$d_{\text{экв}} = \frac{4F}{P}, \quad (14)$$

где F – площадь межтрубного пространства, внутри которого протекает нагреваемая вода, м²:

$$F = \frac{\pi(D^2 - nd_2^2)}{4}; \quad (15)$$

P – смоченный периметр канала $P = \pi(D + n \cdot d_2)$, м, подставляя в формулу (14), получаем формулу (16);

где d_2 – внешний диаметр латунных трубок, мм, (см. табл.1);

D – внутренний диаметр корпуса секции теплообменника, мм (см. табл.1); n – количество латунных трубок в секции теплообменника (см. в табл. 1);

$$F = \frac{3,14 \cdot (106^2 - 19 \cdot 16^2) \cdot 10^{-6}}{4} = 0,005 \text{ м}^2;$$

$$d_{\text{экв}} = \frac{D^2 - nd_2^2}{D + nd} = \frac{106^2 - 19 \cdot 16^2}{106 + 19 \cdot 16} = 15,5 \text{ мм}. \quad (16)$$

7.3) Скорость движения нагреваемой воды:

$$\omega_2 = \frac{G_2}{F \cdot \rho_2} = \frac{18000}{3600 \cdot 0,005 \cdot 994,8} = 1,00 \text{ м/с}; \quad (17)$$

7.4) Число Рейнольдса для нагреваемой воды:

$$Re_2 = \frac{\omega_2 d_{\text{экв}}}{\nu_2} = \frac{1 \cdot 15,5 \cdot 10^{-3}}{0,768 \cdot 10^{-6}} = 20200. \quad (18)$$

7.5) Определяем критерий Нуссельта для нагреваемой воды:

$$N_{e2} = 0,021 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{\tilde{n}\delta}} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,021 \cdot 20200^{0,8} \cdot 5,14^{0,43} \left(\frac{5,14}{4,31} \right)^{0,25} = 123,4. \quad (19)$$

7.6) Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности латунных трубок к нагреваемой воде:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{y\acute{e}a2}} = \frac{123,4 \cdot 0,628}{15,5 \cdot 10^{-3}} = 5000 \text{ Вт/м}^2\text{°С}. \quad (20)$$

8) Коэффициент теплопередачи от греющей воды к нагреваемой воде через стенки латунных трубок теплообменника определяем по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\tilde{n}\delta}}{\lambda_{\tilde{n}\delta}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{7244} + \frac{0,001}{104,5} + \frac{1}{5000}} = 2877 \text{ Вт/м}^2\text{°С}. \quad (21)$$

9) Определяем средний температурный напор между теплоносителями (см. рис.2).

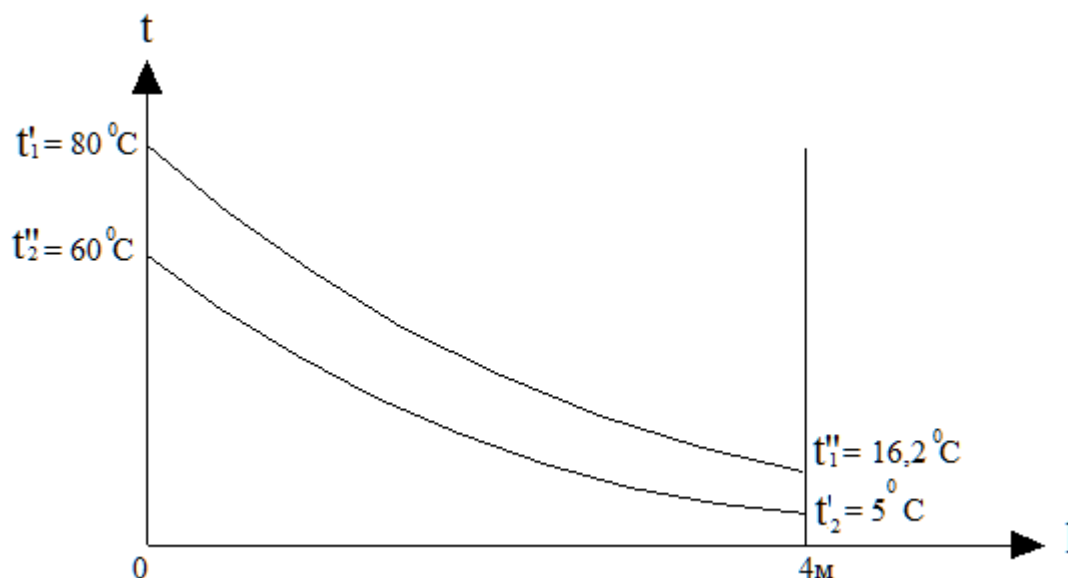


Рис. 2. График изменения температур теплоносителей по длине теплообменника при противоточной схеме движения.

Предварительно найдем разности температур теплоносителей на входе и выходе из подогревателя:

$$\Delta t_{\delta} = t_1' - t_2'' = 80 - 60 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (22)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_1'' - t_2' = 16,2 - 5 = 11,2 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad (23)$$

где Δt_{δ} и $\Delta t_{\text{м}}$ – большая и меньшая разность температур на концах теплообменника, $^{\circ}\text{C}$.

Если отношение $\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}} < 2$, то средний температурный напор определяем как среднеарифметический, $^{\circ}\text{C}$:

$$\bar{\Delta t} = 0,5(\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}). \quad (24)$$

Если отношение $\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}} > 1,5 \div 2$, то средний температурный напор определяем как среднелогарифмический, $^{\circ}\text{C}$:

Так как $\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}} = 20 / 11,2 = 1,8 > 1,5$, то средний температурный напор определяем как среднелогарифмический:

$$\bar{\Delta t} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_{\text{м}})} = \quad (25)$$

$$\bar{\Delta t} = \frac{20 - 11,2}{\ln(20 / 11,2)} = 15,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

10) Площадь поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\text{н\delta}}} = \frac{1147 \cdot 10^3}{2877 \cdot 15,3} = 26,06 \text{ м}^2. \quad (26)$$

11) Поверхность нагрева одной секции теплообменника, м^2 :

$$F_{\text{секц}} = n \cdot \pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot l \quad (27)$$

где n – количество латунных трубок в секции теплообменника (см. в табл. 1);

l – расчетная длина трубной секции, м, (см. в табл. 1);

$d_{\text{ср}} = 0,5(d_1 + d_2)$ – средний диаметр трубок теплообменника, м,
 $d_{\text{ср}} = 0,5(14 + 16) \cdot 10^{-3} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

Определяем поверхность нагрева одной секции теплообменника:

$$F_{\text{секц}} = 19 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 3,58 \text{ м}^2.$$

12) Число секций в теплообменнике:

$$N = \frac{F}{F_{\text{н\delta\ddot{o}}}} = \frac{26,06}{3,58} = 7,3 \text{ шт.} \quad (28)$$

Принимаем для теплообменника количество секций $N=8$ шт.

13) Уточним длину секции:

$$l' = \frac{F}{N \cdot n \cdot \pi \cdot d_{\text{н}\delta}} = \frac{26,06}{8 \cdot 19 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 10^{-3}} = 3,64 \text{ м.} \quad (29)$$

14) Уточним температуры поверхностей трубок теплообменника (рис. 3):

$$t_{\text{с}\delta 1} = \bar{t}_1 - \frac{Q}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot n \cdot l' \cdot N}, \quad (30)$$

$$t_{\text{с}\delta 1} = 48,1 - \frac{1147 \cdot 10^3}{7244 \cdot 3,14 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 19 \cdot 3,64 \cdot 8} = 41,6^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{с}\delta 2} = \bar{t}_2 + \frac{Q}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot n \cdot l' \cdot N}, \quad (31)$$

$$t_{\text{с}\delta 2} = 32,5 + \frac{1147 \cdot 10^3}{5000 \cdot 3,14 \cdot 16 \cdot 10^{-3} \cdot 19 \cdot 3,64 \cdot 8} = 40,8^\circ\text{C}$$

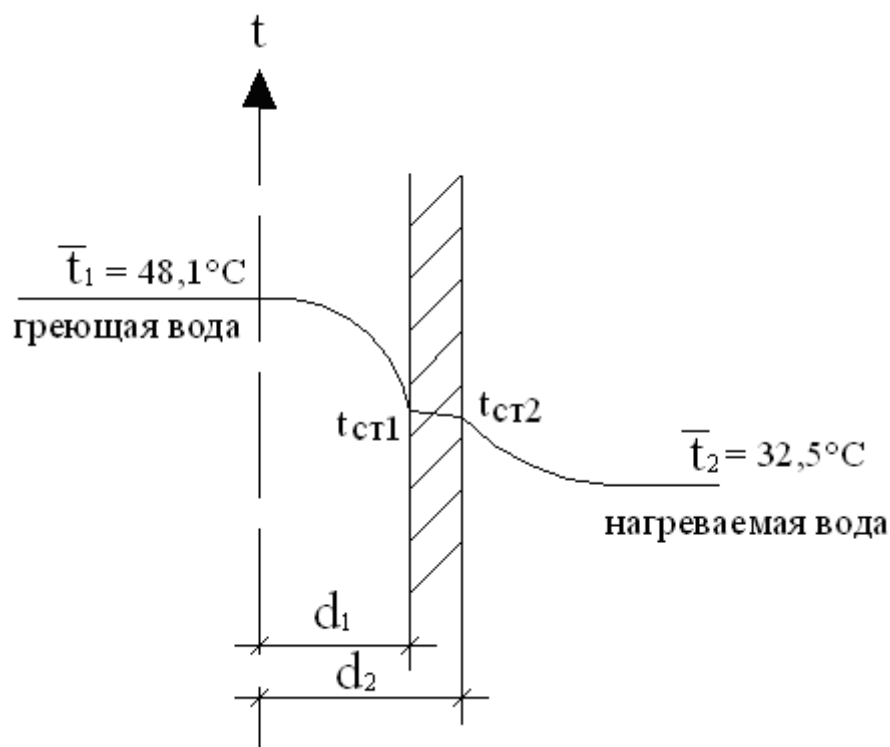


Рис. 3. График изменения температуры на расчетном участке теплопередачи трубки теплообменника

15) Средняя температура стенки трубок теплообменника:

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{с}\delta 1} + t_{\text{с}\delta 2}) = 0,5(41,6 + 40,8) = 41,2^\circ\text{C} \quad (32)$$

16) Погрешность расчета средней температуры стенки трубки:

$$\delta t_{\bar{n}\delta} = \left| \frac{(t_{c\delta})_1 - (t_{\bar{n}\delta})_2}{(t_{\bar{n}\delta})_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{40,35 - 41,2}{40,35} \right| \cdot 100\% = 2,1\% \quad (33)$$

Совпадение с ранее принятой t_{ct} допускается в пределах 5%.

Совпадение с ранее принятой температурой стенки трубки $t_{ct} = 0,5(\bar{t}_1 + \bar{t}_2) = 0,5(48,1 + 32,5) = 40,35^\circ\text{C}$ удовлетворительное (см. п.6.4).

17) Если $\delta t_{\bar{n}\delta} > 5\%$, то заново определяем число Прандтля Pr_{ct} воды при средней температуре стенки $t_{cm} = 41,2^\circ\text{C}$ (по таблице П.2 “Физические свойства воды на линии насыщения” в приложении) и выполняем пересчет по формулам:

$$Nu_1 = 0,021 Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \left(\frac{Pr_1}{Pr_{\bar{n}\delta}} \right)^{0,25}, \quad (12)$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} \quad (13)$$

$$Nu_2 = 0,021 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{\bar{n}\delta}} \right)^{0,25} \quad (19)$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{y\acute{e}a2}} \quad (20)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\bar{n}\delta}}{\lambda_{\bar{n}\delta}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (21)$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\bar{n}\delta}} \quad (26)$$

$$N = \frac{F}{F_{\bar{n}\acute{a}\acute{e}\ddot{o}}} \quad (28)$$

$$l' = \frac{F}{N \cdot n \cdot \pi \cdot d_{\bar{n}\delta}} \quad (29)$$

$$t_{c\delta 1} = \bar{t}_1 - \frac{Q}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot n \cdot l' \cdot N}, \quad (30)$$

$$t_{c\dot{o}2} = \bar{t}_2 + \frac{Q}{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot n \cdot \ell' \cdot N}, \quad (31)$$

$$t_{ct} = 0,5(t_{ct1} + t_{ct2}) \quad (32)$$

$$\delta t_{\tilde{n}\dot{o}} = \left| \frac{(t_{c\dot{o}})_1 - (t_{\tilde{n}\dot{o}})_2}{(t_{\tilde{n}\dot{o}})_1} \right| \cdot 100\% \quad (33)$$

Тепловой расчет теплообменника считается окончанным, если совпадение с ранее принятой t_{ct} выполняется в пределах 5%.

Библиографический список

1. Теплотехника [Текст] : учебник / под ред. А. П. Баскакова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : БАСТЕТ, 2010. - 328 с.
2. Техническая термодинамика и теплотехника [Текст] : учебное пособие / под ред. А. А. Захаровой. - 2-е изд., испр. - М. : Академия, 2008. - 272 с.
3. Примеры и задачи по тепломассообмену [Текст] : [учебное пособие] / В. С. Логинов [и др.]. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург : Лань , 2011. - 256 с.
4. Техническая термодинамика и теплотехника [Текст] : учебное пособие / под ред. А.А. Захаровой. - М.: Академия, 2006. - 272 с.
5. Брюханов О. Н. Основы гидравлики и теплотехники: [Текст]: учебник / О. Н. Брюханов, А. Т. Мелик-Аракелян, В. И. Коробко. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2006. - 240 с.
6. Теплотехника [Текст]: учебник / Под ред. В. Н. Луканина. - 4-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 2003. - 671 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П.1 - Исходные данные вариантов.

Показатели	Ед. изм.	Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Расход греющей воды G_1	кг/ч	Последняя цифра шифра									
		2200	4800	6500	10500	12500	5000	6000	7000	8000	9500
Температура греющей воды на входе в ТО t'_1	$^{\circ}\text{C}$	90	92	91	93	94	96	98	97	99	95
Расход нагреваемой воды G_2	кг/ч	4100	8400	10500	17000	20000	8000	10000	12500	15000	17000
Внутренний диаметр корпуса D	мм	49	69	82	107	158	209	259	309	82	158
Число трубок в секции n		4	7	10	19	37	61	109	151	10	37
Температура нагреваемой воды на входе в ТО t'_2	$^{\circ}\text{C}$	Предпоследняя цифра шифра									
		6	7	8	9	5	6	7	10	9	10
Температура нагреваемой воды на выходе из ТО t''_2	$^{\circ}\text{C}$	47	48	49	52	54	52	53	45	55	50
Коэффициент теплопроводности материала трубок λ	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	105	102	106	100	108	110	112	114	118	101
Расчетная длина секции ТО l	м	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8
Диаметры трубок d_2/d_1	мм	16/14									

Таблица П.2 – Физические свойства воды на линии насыщения

t, °C	$P \cdot 10^{-5}$, Па	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, К ⁻¹	P_r
0	1,013	999,9	4,212	0,55	1,789	-0,63	13,67
10	1,013	999,7	4,191	0,57	1,306	0,70	9,52
20	1,013	998,2	4,183	0,60	1,006	1,82	7,02
30	1,013	995,7	4,174	0,62	0,805	3,21	5,42
40	1,013	992,2	4,174	0,64	0,659	3,87	4,31
50	1,013	988,1	4,174	0,65	0,556	4,49	3,54
60	1,013	983,2	4,179	0,66	0,478	5,11	2,98
70	1,013	977,8	4,187	0,67	0,415	5,70	2,55
80	1,013	971,8	4,195	0,67	0,365	6,32	2,21
90	1,013	965,3	4,208	0,68	0,326	6,95	1,95
100	1,013	958,4	4,220	0,68	0,295	7,52	1,75
110	1,43	951,0	4,233	0,69	0,272	8,08	1,60
120	1,98	943,1	4,250	0,69	0,252	8,64	1,47
130	2,70	934,8	4,266	0,69	0,233	9,19	1,36
140	3,61	926,1	4,287	0,69	0,217	9,72	1,16
150	4,76	917,0	4,313	0,68	0,203	10,3	1,17
160	6,18	907,4	4,346	0,68	0,191	10,7	1,10
170	7,92	897,3	4,380	0,68	0,181	11,3	1,05
180	10,03	886,9	4,417	0,67	0,173	11,9	1,00
190	12,55	876,0	4,459	0,67	0,165	12,6	0,96
200	15,55	863,0	4,505	0,66	0,158	13,3	0,9
210	19,08	852,8	4,555	0,66	0,153	14,1	0,9
220	23,20	840,3	4,614	0,65	0,148	14,8	0,89
230	27,98	827,3	4,681	0,64	0,145	15,9	0,88
240	33,48	813,6	4,756	0,63	0,141	16,8	0,87
250	39,78	799,0	4,844	0,62	0,137	18,1	0,86
260	46,94	784,0	4,949	0,61	0,135	19,7	0,87
270	55,05	767,9	5,070	0,59	0,133	21,6	0,88
280	64,19	750,7	5,230	0,57	0,131	23,7	0,90
290	74,45	732,3	5,485	0,56	0,129	26,2	0,93
300	85,92	712,5	5,736	0,54	0,128	29,2	0,97