

В.В. Селин, В.В. Пухов, А.Г. Филонов

**РАСЧЕТ ВОДО-ВОДЯНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА
ТИПА "ТРУБА В ТРУБЕ"**

Методическое пособие к выполнению курсовой работы
по дисциплинам «Теоретические основы теплотехники»,
«Тепломассообмен» и «Теплотехника» для студентов специальностей
100500-Тепловые электрические станции, 290700-Теплогазоснабжение и
вентиляция и 240500-Эксплуатация судовых энергетических установок

Калининград
Издательство КГТУ
2004

УТВЕРЖДЕНО

Ректором Калининградского
государственного технического
университета 26 февраля 2004 г.

АВТОРЫ - Селин В. В., к.т.н., профессор кафедры судовых энергетических
установок и теплоэнергетики Калининградского государственного
технического университета

Пухов В.В., к.т.н., доцент той же кафедры,

Филонов А.Г., к.т.н., доцент той же кафедры

Методическое пособие рассмотрено и одобрено кафедрой судовых энер-
гетических установок и теплоэнергетики Калининградского государственного
технического университета 13 января 2004 года, протокол № 4

Методическое пособие рекомендовано к печати секцией методической
комиссии по теплоэнергетике факультета судостроения и энергетики Калинин-
градского государственного технического университета

РЕЦЕНЗЕНТ - кафедра судовых энергетических установок и теплоэнергетики
Калининградского государственного технического университета

Учебные планы специальностей 100500-Тепловые электрические стан-
ции, 290700- Теплогазоснабжение и вентиляция и 240500- Эксплуатация судо-
вых энергетических установок», разработанные в соответствии с Государствен-
ными образовательными стандартами высшего профессионального образова-
ния, предусматривают выполнение студентами курсовой работы по дисципли-
нам «Теоретические основы теплотехники», «Тепломассообмен» и «Теплотех-
ника».

Эта работа должна выполняться одновременно с завершением лекцион-
ного курса и лабораторного практикума, поэтому нуждается в сопровождении
специальных методических разработок.

Темой курсовой работы, позволяющей комплексно обобщить полученные
на лекциях, практических и лабораторных занятиях знания, является расчет те-
плообменного аппарата.

Среди многих типов теплообменных аппаратов, используемых в про-
мышленности, наиболее просто и наглядно можно проанализировать происхо-
дящие в них процессы на примере секционных теплообменников типа «труба в
трубе», которые широко применяются как в системах отопления, так и в раз-
личных технологических схемах для нагрева и охлаждения теплоносителей, в
том числе и на судах. В качестве греющей среды здесь может использоваться
либо пар, либо жидкость (вода).

Студент должен самостоятельно в соответствии с предложенным ему за-
даaniem (таблица) произвести тепловой расчет теплообменного аппарата и наме-
тить первые шаги по его конструированию.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Определить площадь поверхности нагрева F и число секций n водяного теплообменника (ТА) типа «труба в трубе», схема которого показана на рис. 1.

Греющая вода в нем движется по внутренней стальной трубе диаметром d_2/d_1 и имеет температуру на входе t'_1 . Её расход - G_1 . Нагреваемая вода движется противотоком (можно организовать ее течение прямотоком, в этом случае вход и выход нагреваемой воды меняются местами) по кольцевому каналу между внутренней и внешней трубами и нагревается от t'_1 до t'_2 . Внутренний диаметр внешней трубы D , расход нагреваемой воды G_2 . Длина одной секции ТА - l . Потерями теплоты через внешнюю поверхность теплообменника будем пренебрегать.

Определить также, насколько уменьшится эффективность работы ТА (величина коэффициента теплопередачи K) при наличии отложений на внутренней поверхности внутренней трубы, имеющих термическое сопротивление $\Delta R_{от}$.

При расчетах будем считать постоянными:

- теплоемкость воды $c_p = 4190$ Дж/(кг·К),
- коэффициент теплопроводности стальных труб $\lambda = 45$ Вт/(м·К).

Будем считать, что термическое сопротивление накипи внутри трубы может изменяться в пределах $\Delta R_{от} = (0,15 \div 0,35) \cdot 10^{-3}$ (м²·К)/Вт.

Физические характеристики воды в интервале температур t от 0 °С до 100 °С можно определить в зависимости от температуры по следующим уравнениям:

Плотность (в кг/м³)

$$\rho = 1010 - 0,47 \cdot t; \quad (1)$$

Коэффициент теплопроводности воды (в Вт/(м·К))

$$\lambda = 0,581 + 0,0012 \cdot t; \quad (2)$$

Коэффициент кинематической вязкости (в м²/с)

$$\nu = (1,089 - 0,00948 \cdot t) \cdot 10^{-6}; \quad (3)$$

Число Прандтля

$$Pr = 7,5 - 0,0694 \cdot t; \quad (4)$$

Эквивалентный диаметр для кольцевого канала (в мм) при расчете числа Re определяется как

$$d_s = D - d_2 \quad (5)$$

Диаметры присоединительных патрубков для входа и выхода греющей и нагреваемой воды d_1^{ex} , d_1^{in} , d_2^{ex} , d_2^{in} (в метрах) соответственно можно рассчитать по уравнениям:

$$d_1^{ex} = d_1^{in} = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{G_1}{3,14 \cdot W_{от} \cdot \rho}}, \quad (6)$$

$$d_2^{ex} = d_2^{in} = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{G_2}{3,14 \cdot W_{от} \cdot \rho}}, \quad (7)$$

где $W_{от} = 1,0 \div 2,5$ м/с — допустимая скорость воды в присоединительных патрубках. Полученные диаметры патрубков необходимо округлить до унифицированных, которые выбираются из следующего ряда условных проходов d , трубопроводов: 6, 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 70, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500 мм.

Расчет F и провести также и для случая прямоуго.

Используя результаты расчета, на миллиметровой бумаге построить графические зависимости изменения температур холодного и горячего теплоносителей по поверхности теплообмена для прямо - и противотока (формат А4), а также в масштабе вычертить конструктивный чертеж водо - водяного теплообменника типа «труба в трубе» (формат А3).

Рис. 1. Схема водо-водяного теплообменника типа «труба в трубе»

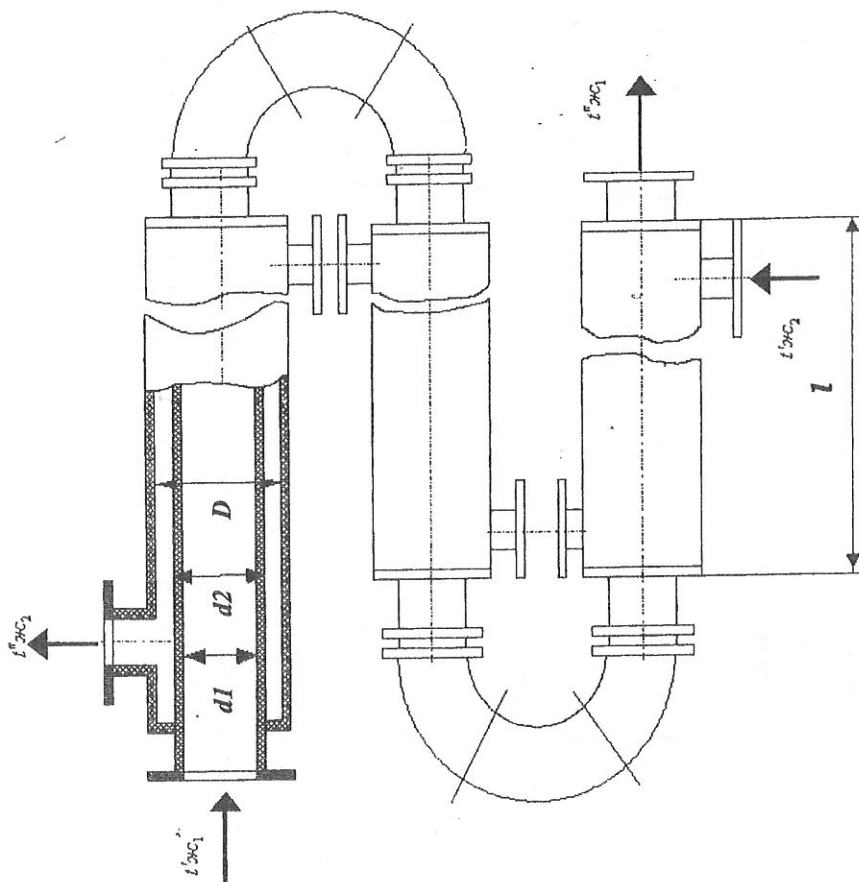


Таблица. Исходные данные для расчета

Параметры, их обозначение и единицы измерения		Номер варианта									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Длина трубной секции l , м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,5	1,6	1,7	1,8	
Диаметр внутренней трубы d_2/d_1 , мм	25/22	25/22	25/22	25/22	25/22	25/22	25/22	25/22	25/22	25/22	
Толщина стенки внутренней трубы δ , м	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	
Внутренний диаметр внешней трубы D , мм	38	36	38	36	38	36	38	36	38	36	
Расход греющей воды G_1 , кг/ч	2000	2100	2200	2300	2400	2000	2100	2200	2300	2400	
Температура греющей воды на входе t_1 , °C	85	90	95	85	90	95	85	90	95	85	
Расход нагреваемой воды G_2 , кг/ч	3000	3000	3000	3100	3100	3100	3200	3200	3200	3200	
Температура нагреваемой воды на входе t_2 , °C	12	15	17	15	17	12	17	15	12	12	
Температура нагреваемой воды на выходе t_2' , °C	40	45	50	40	40	45	50	40	45	50	
Термическое сопротивление отложений (накипи) $\Delta R_{om} \cdot 10^3$, (м ² ·K)/Вт	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	

Параметры, их обозначение и единицы измерения		Номер варианта											
Длина трубной секции l , м	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	2,0	1,9	38/34
Диаметр внутренней трубы d_2/d_1 , мм	38/34	38/34	38/34	38/34	38/34	38/34	38/34	38/34	38/34	38/34	0,002	0,002	0,002
Толщина стенки внутрен-	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	48	48	46
Внутренний диаметр внеш-	48	46	48	48	46	46	48	48	46	46	2400	2300	2400
Расход греющей воды G_1 , кг/ч	2000	2100	2200	2300	2400	2000	2100	2200	2300	2400	90	85	90
Температура греющей во-	90	95	85	90	95	85	90	95	90	95	3200	3000	3000
Расход нагреваемой воды G_2 , кг/ч	3200	3200	3200	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3000	15	15	15
Температура нагреваемой	15	17	15	17	12	12	12	12	12	45	50	45	50
Температура нагреваемой	50	45	45	45	40	40	40	45	50	45	0,15	0,20	0,25
Термическое сопротивление	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,30	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,30	0,35
$\Delta R_{om} \cdot 10^{-3}$, (м ² ·К)/Вт													

Продолжение таблицы

Параметры, их обозначение и единицы измерения		Номер варианта											
Длина трубной секции l , м	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1,8	1,7	2,0
Диаметр внутренней трубы d_2/d_1 , мм	48/43	48/43	48/43	48/43	48/43	48/43	48/43	48/43	48/43	48/43	0,0025	0,0025	0,0025
Толщина стенки внутрен-	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	57	59	59
Внутренний диаметр внеш-	57	59	57	59	57	59	57	59	57	59	2000	2100	2400
Расход греющей воды G_1 , кг/ч	2000	2100	2200	2300	2400	2000	2100	2200	2300	2400	95	85	90
Температура греющей во-	95	85	90	95	85	90	95	85	90	95	3000	3000	3200
Расход нагреваемой воды G_2 , кг/ч	3000	3000	3000	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3200	15	17	15
Температура нагреваемой	15	17	17	17	12	12	12	17	15	40	50	45	50
Температура нагреваемой	40	50	40	45	45	50	50	50	50	40	0,15	0,20	0,25
Термическое сопротивление	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,30	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,30	0,35
$\Delta R_{om} \cdot 10^{-3}$, (м ² ·К)/Вт													

Продолжение таблицы

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННИКА

Исходные данные:

Длина трубной секции l , м	1,5
Диаметр внутренней трубы d_2/d_1 , мм	35/32
Толщина стенки внутренней трубы δ , м	0,0015
Внутренний диаметр внешней трубы D , мм	48
Расход греющей воды G_1 , кг/ч	2130
Температура греющей воды на входе t'_1 , °C	95
Расход нагреваемой воды G_2 , кг/ч	3200
Температура нагреваемой воды на входе t'_2 , °C	15
Температура нагреваемой воды на выходе t''_2 , °C	45

Решение

1. Количество передаваемой теплоты

$$Q = G_2 \cdot C_p \cdot (t''_2 - t'_2) = \frac{3200}{3600} \cdot 4190 \cdot (45 - 15) = 11173 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

2. Температура греющей воды на выходе

$$t''_1 = t'_1 - \frac{Q}{G_1 \cdot C_p} = 95 - \frac{11173 \cdot 10^3 \cdot 3600}{2130 \cdot 4190} = 50 \text{ °C.}$$

3. Средняя температура греющей воды

$$t_1 = 0,5 \cdot (t'_1 + t''_1) = 0,5 \cdot (95 + 50) = 72,5 \text{ °C.}$$

4. Плотность греющей воды

$$\rho_1 = 1010 - 0,47 \cdot t_1 = 1010 - 0,47 \cdot 72,5 = 976 \text{ кг/м}^3.$$

5. Коэффициент кинематической вязкости греющей воды, м²/с:

$$\nu_1 = (1,089 - 0,00948 \cdot t_1) \cdot 10^{-6} = (1,089 - 0,00948 \cdot 72,5) \cdot 10^{-6} = 0,402 \cdot 10^{-6}$$

6. Коэффициент теплопроводности греющей воды

$$\lambda_1 = 0,581 + 0,0012 \cdot t_1 = 0,581 + 0,0012 \cdot 72,5 = 0,67 \text{ Вт/(м К).}$$

7. Число Прандтля по температуре греющей воды

$$Pr_{ж1} = 7,5 - 0,0694 \cdot t_1 = 7,5 - 0,0694 \cdot 72,5 = 2,47.$$

8. Средняя температура нагреваемой воды

$$t_2 = 0,5 \cdot (t'_2 + t''_2) = 0,5 \cdot (15 + 45) = 30 \text{ °C.}$$

9. Плотность нагреваемой воды

$$\rho_2 = 1010 - 0,47 \cdot t_2 = 1010 - 0,47 \cdot 30 = 996 \text{ кг/м}^3.$$

10. Коэффициент кинематической вязкости нагреваемой воды

$$\nu_2 = (1,089 - 0,00948 \cdot t_2) \cdot 10^{-6} = (1,089 - 0,00948 \cdot 30) \cdot 10^{-6} = 0,805 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с.}$$

11. Коэффициент теплопроводности нагреваемой воды

$$\lambda_2 = 0,581 + 0,0012 \cdot t_2 = 0,581 + 0,0012 \cdot 30 = 0,617 \text{ Вт/(м К).}$$

12. Число Прандтля по температуре нагреваемой воды

$$Pr_{ж2} = 7,5 - 0,0694 \cdot t_2 = 7,5 - 0,0694 \cdot 30 = 5,42.$$

13. Скорость движения греющей воды

$$W_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\rho_1 \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot 3600} = \frac{4 \cdot 2130}{996 \cdot 3,14 \cdot 3,2^2 \cdot 10^{-4} \cdot 3600} = 0,754 \text{ м/с.}$$

14. Скорость движения нагреваемой воды

$$W_2 = \frac{4 \cdot G_2}{\rho_2 \cdot \pi \cdot (D^2 - d_2^2) \cdot 3600} = \frac{4 \cdot 3200}{996 \cdot 3,14 \cdot (4,8^2 - 3,5^2) \cdot 10^{-4} \cdot 3600} = 1,05 \text{ м/с.}$$

15. Число Рейнольдса для потока греющей воды

$$Re_1 = \frac{W_1 \cdot d_1}{\nu_1} = \frac{0,754 \cdot 0,0320}{0,402 \cdot 10^{-6}} = 6 \cdot 10^4.$$

16. Режим течения турбулентный, следовательно, расчет ведем по формуле, применяемой для расчета числа Нуссельта:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_{ж1}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{ж1}}{Pr_{с1}} \right)^{0,25} *$$

Примечание.

Вид применяемой формулы *) зависит от режима течения, который определяется числом Рейнольдса.

При $Re < 2000$ течение ламинарное (при этом различают вязкостный режим течения при $(Gr_{лж} \cdot Pr)_{ж} \leq 8 \cdot 10^5$ и вязкостно-гравитационный при $(Gr_{лж} \cdot Pr)_{ж} > 8 \cdot 10^5$). Величина параметра Gr определяется по уравнению:

$$Gr = (g \cdot d^3 \cdot \beta \cdot \Delta t) / \nu^2.$$

В случае, если $10^4 > Re > 2000$, имеет место переходной режим течения.

В случае, если $Re > 10^4$, считается, что режим течения турбулентный.

В расчетах чаще всего пользуются значением $Re_{кр} = 2300$, считая, что при значениях $Re > 2300$ режим течения может быть принят турбулентным, а при меньших - ламинарным. В соответствии с режимом течения используются следующие формулы:

а) при ламинарном вязкостном режиме течения

$$Nu = 0,15 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr_{ж}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_c} \right)^{0,25};$$

б) при ламинарном вязкостно-гравитационном режиме

$$Nu = 0,15 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr_{жс}^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_c} \right)^{0,25};$$

в) при турбулентном режиме течения

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_{жс}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_c} \right)^{0,25}.$$

Продолжаем расчет

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

$$t_{c1} \approx 0,5 \cdot (t_1 + t_2) = 0,5 \cdot (72,5 + 30) = 51,25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

18. Число Прандтля для воды при температуре стенки t_{c1} :

$$Pr_{c1} = 7,5 - 0,0694 \cdot t_{c1} = 7,5 - 0,0694 \cdot 51,25 = 3,95.$$

Число Нуссельта со стороны греющей воды (см. п. 16)

$$Nu_1 = 0,021 \cdot (6 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot (2,47)^{0,43} \cdot \left(\frac{2,47}{3,95} \right)^{0,25} = 182,3.$$

19. Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубы

$$\alpha_1 = Nu_1 \cdot \frac{\lambda_1}{d_1} = 182,3 \cdot \frac{0,67}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 3817 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}.$$

20. Число Рейнольдса для потока нагреваемой воды

$$Re_2 = \frac{W_2 \cdot d_2}{\nu_2} = \frac{1,05 \cdot 1,3 \cdot 10^{-2}}{0,805 \cdot 10^{-6}} = 1,7 \cdot 10^4,$$

$$\text{где } d_2 = D - d_1 = (4,8 - 3,5) \cdot 10^{-2} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ м,}$$

так как $Re_2 > 10^4$, то режим течения турбулентный (поэтому принимаем формулу по п. 23).

21. Принимаем в первом приближении температуру стенки со стороны нагреваемой воды

$$t_{c2} = t_{c1} = 51,25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

22. Число Прандтля для воды при температуре стенки (из таблиц или по ранее приведенной формуле)

$$Pr_{c2} = Pr_{c1} = 3,95.$$

23. Число Нуссельта со стороны нагреваемой воды [2]

$$\begin{aligned} Nu_2 &= 0,017 \cdot Re_{жс}^{0,8} \cdot Pr_{жс}^{0,4} \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_{c2}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{D}{d_2} \right)^{0,18} = \\ &= 0,017 \cdot (1,7 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 5,42^{0,4} \cdot \left(\frac{5,42}{3,95} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{48}{35} \right)^{0,18} = 92,2. \end{aligned}$$

Примечание.

В этой формуле поправка $(D/d_2)^{0,18}$ учитывает особенности теплообмена в кольцевых каналах.

При $Re < Re_{кр} = 2300$ можно использовать формулы для определения Nu такие же, как и для вынужденного ламинарного течения в трубах (они уже приведены раньше, см. пп. 16 и 16 б), но с учетом поправки $(D/d_2)^{0,18}$.

Продолжаем расчет

24. Коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде

$$\alpha_2 = Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{d} = 92,2 \cdot \frac{0,617}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 4376 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}.$$

25. Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3817} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{4376}} = 1912 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}.$$

В общем случае изменение температур теплоносителей по поверхности ТА соответствует логарифмическому закону и при противотоке, и при прямотоке (см. рис. 2 и 3).

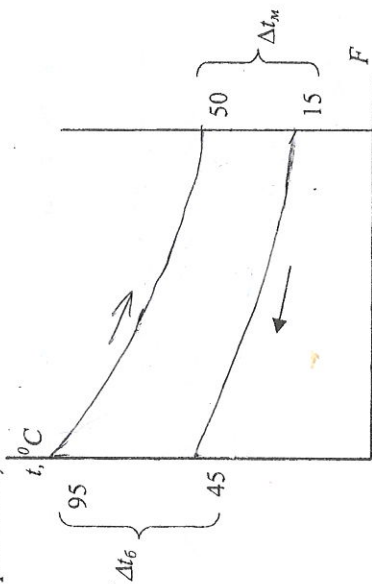


Рис. 2. Графики изменения температур при противотоке

26. Наибольший температурный напор

$$\Delta t_6 = t'_1 - t''_2 = 95 - 45 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

27. Наименьший температурный напор

$$\Delta t_m = t'_1 - t'_2 = 50 - 15 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

28. Среднелогарифмический температурный напор

$$\Delta t_n = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{50 - 35}{\ln \frac{50}{35}} = 42,05 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

(В принципе, т.к. отношение

$$\frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} = \frac{50}{35} = 1,43 < 1,5,$$

то расчет можно вести и по среднеарифметическому напору, который равен

$$\Delta t_{cp} = t_1 - t_2 = 72,5 - 30 = 42,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

29. Плотность теплового потока

$$q = K \cdot \Delta t_n = 1912 \cdot 42,05 = 80,4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$$

30. Площадь поверхности нагрева

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{11173 \cdot 10^3}{80,4 \cdot 10^3} = 1,39 \text{ м}^2.$$

31. Число секций (для противотока)

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_1 \cdot l} = \frac{1,39}{3,14 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5} = 9,22,$$

принимая $n = 10$ (для противотока) и уточняем F :

$$F = \pi d_1 l n = 3,14 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 10 = 1,51.$$

32. Температура стенки трубы со стороны греющей воды

$$t_1 = t'_1 - \frac{q}{\alpha_1} = 72,5 - \frac{80,4 \cdot 10^3}{3817} = 51,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

33. При этой температуре

$$Pr'_{c,1} = 7,5 - 0,0694 \cdot t_{c,1} = 7,5 - 0,0694 \cdot 51,5 = 3,93.$$

34. Уточненное значение поправки

$$\left(\frac{Pr'_{w,1}}{Pr'_{c,1}} \right)^{0,25} = \left(\frac{2,47}{3,93} \right)^{0,25} = 0,89.$$

Было принято: $\left(\frac{2,47}{3,95} \right)^{0,25} = 0,889$, так как $\left| \frac{0,889}{0,9} - 1 \right| = 0 < 0,05$, поэтому

второе приближение не нужно. При необходимости второе приближение расче-

та проводится, начиная с п. 17, приняв в качестве температуры стенки t_{c1} ее уточненное значение, полученное в п. 32. Обычно второго приближения бывает достаточно.

35. Температура стенки со стороны нагреваемой воды

$$t_{c2} = t_2 + \frac{q}{\alpha_2} = 30 + \frac{80,4 \cdot 10^3}{4376} = 48,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При этой температуре

$$Pr'_{c2} = 7,5 - 0,0694 \cdot t_{c2} = 7,5 - 0,0694 \cdot 48,4 = 4,14.$$

36. Уточненное значение поправки

$$\left(\frac{Pr_2}{Pr'_{c2}} \right)^{0,25} = \left(\frac{5,42}{4,14} \right)^{0,25} = 1,07.$$

Было принято: $\left(\frac{5,42}{3,95} \right)^{0,25} = 1,082.$

Так как $\left| 1 - \frac{1,07}{1,082} \right| = 0,01 < 0,05$, поэтому второе приближение не нужно.

(Оно проводится, начиная с п. 21, приняв в качестве температуры стенки t_{c2} ее уточненное значение, полученное в п. 35. Обычно второго приближения бывает достаточно).

Принимаем $F = 1,51 \text{ м}^2$, $n = 10$.

Продолжаем расчет для прямого тока в последовательности, начиная с п. 26.

Изменение температур теплоносителей по поверхности ТА при прямом токе показано на рис. 3.

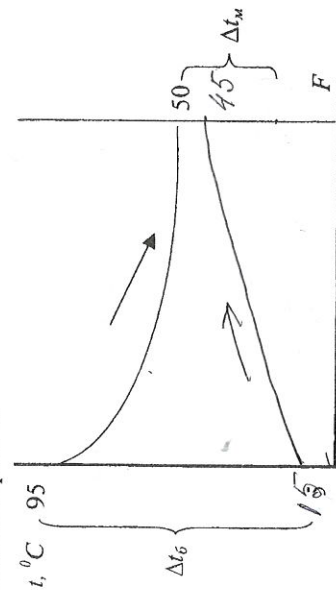


Рис. 3. Графики изменения температур при прямом токе

37. Среднелогарифмический температурный напор

$$\Delta t_n = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{80 - 5}{\ln \frac{80}{5}} = 27,05 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

38. Плотность теплового потока

$$q = K \cdot \Delta t_n = 1912 \cdot 27,05 = 51,7 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2.$$

39. Площадь поверхности нагрева

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{111,73 \cdot 10^3}{51,7 \cdot 10^3} = 2,16 \text{ м}^2.$$

40. Число секций

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_1 \cdot l} = \frac{2,16}{3,14 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5} = 14,33,$$

принимаем $n = 15$ (для прямого тока) и уточняем F :

$$F = \pi d_1 l n = 3,14 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 15 = 2,26 \text{ м}^2.$$

Определим теперь влияние отложений, приняв $\Delta R_{от} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$.

Тогда значение коэффициента теплопередачи с учетом отложений $K_{от}$ будет равно [3]:

$$K_{от} = \frac{1}{\frac{1}{\delta} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\Delta R_{от}}{\lambda_c}} = \frac{1}{\frac{1}{0,0015} + \frac{1}{3817} + \frac{1}{45} + \frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{4376}} = 1292 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Эффективность работы ТА уменьшается почти в 1,5 (1912/1292) раза.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Исходные данные	4
2. Пример расчета теплообменника.....	10
3. Рекомендуемая литература	18

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Исаченко В.П. Теплопередача: изд. 3-е / В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С.Сукомел.- М.: Энергия, 1975.- 486с.
2. Краснощекоев Е.А. Задачник по теплопередаче / Е.А.Краснощекоев, А.С.- М.: Энергия, 1980, 264с.
3. Архипов Л.И. Расчет теплообменников в промышленных установках, системах и сооружениях: учебное пособие / Л.И. Архипов, А.Б. Горяев, А.Л. Ефимов и др.; под ред. А.Л. Ефимова.-М.: Изд-во МЭИ. - 52с.
4. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник/ под ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина.-М.: Энергия, 1980. -529с.
5. Селин В.В. Теплотехника: учебник/ В.В. Селин. -Калининград, 2001. -

Виктор Васильевич Селин
Владимир Васильевич Пухов
Александр Георгиевич Филонов

РАСЧЕТ ВОДО-ВОДЯНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ТИПА "ТРУБА В ТРУБЕ"

Методическое пособие к выполнению курсовой работы
по дисциплинам «Теоретические основы теплотехники»,
«Тепломассообмен» и «Теплотехника» для студентов специальностей
100500-Тепловые электрические станции, 290700-Теплогазоснабжение и
вентиляция и 240500-Эксплуатация судовых энергетических установок

Редактор Г.Е. Смирнова
УОП КГТУ. Заказ 408. Тираж 150 экз.
Объем 1,3 п.л.; 1,0 уч.-изд.л. Цена договорная