

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Ивановский  
государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина"

Кафедра теоретических основ теплотехники

**№ 2394**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ  
В ПЛАСТИНЧАТОМ ТЕПЛООБМЕННОМ  
АППАРАТЕ**

*Методические указания  
к выполнению лабораторной работы*

Иваново 2016

Составители: В.В. БУХМИРОВ  
Г.А. РОДИОНОВ  
Г.Н. ЩЕРБАКОВА  
М.В. ПРОРОКОВА  
Редактор Т.Е. СОЗИНОВА

Методические указания содержат описание экспериментальной установки, методику проведения эксперимента, а также расчетные формулы, необходимые для обработки результатов опыта. Предназначены для студентов, обучающихся по специальностям теплотехнического профиля 140101, 140103, 140104, 140106 и 220301 и изучающих курс «Тепломассообмен» или «Теплотехника».

Утверждены цикловой методической комиссией ТЭФ

Рецензент

кафедра теоретических основ теплотехники ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

## 1. Задание

1. Экспериментально найти коэффициент теплопередачи в пластинчатом теплообменном аппарате.

2. Рассчитать коэффициент теплопередачи, используя критериальные формулы для определения коэффициентов теплоотдачи от теплоносителей к стенкам теплообменного аппарата.

3. Сравнить экспериментальное и расчетное значения коэффициента теплопередачи в пластинчатом теплообменнике.

## 2. Основы теории

Для теплового расчета рекуперативного теплообменника используют следующие основные уравнения:

а) уравнение теплового баланса

$$Q_1 = Q_2 + Q_{\text{пот}}, \quad (1)$$

которое в развернутом виде для однофазных теплоносителей без учета тепловых потерь ( $Q_{\text{пот}} = 0$  Вт) принимает вид

$$Q = G_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_1' - T_1'') = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_2'' - T_2'); \quad (2)$$

б) уравнение теплопередачи

$$Q = k \cdot \overline{\Delta T} \cdot F. \quad (3)$$

В формулах (1) ÷ (3):  $Q_1$  – количество теплоты, отдаваемое горячим теплоносителем в единицу времени, Вт;  $Q_2$  – количество теплоты, получаемое холодным теплоносителем в единицу времени, Вт;  $Q_{\text{пот}}$  – потери теплоты в окружающую среду, Вт;  $G_1$  и  $G_2$  – массовые расходы горячего и холодного теплоносителей, кг/с;  $c_{p1}$  и  $c_{p2}$  – массовые изобарные теплоемкости горячего и холодного теплоноси-

телей, Дж/(кг·К);  $T_1'$  и  $T_1''$  – температуры горячего теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С;  $T_2'$  и  $T_2''$  – температуры холодного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С;  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\overline{\Delta T}$  – средняя разность температур между горячим и холодным теплоносителями (средний температурный напор), °С;  $F$  – площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>.

Расходы теплоносителей рассчитывают по уравнению неразрывности:

$$G = \rho \cdot \overline{w} \cdot f, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  $\overline{w}$  – средняя скорость теплоносителя, м/с;  $f$  – площадь поперечного сечения канала для прохода теплоносителя, м<sup>2</sup>.

Площадь поперечного сечения канала для горячего теплоносителя рассчитывают по формуле:

$$f_1 = b \cdot (n - 1) \cdot \delta_{\text{канала}} / 2; \quad (5)$$

где  $b$  – ширина пластины, м;  $\delta_{\text{канала}}$  – толщина канала между пластинами, м;  $n$  – количество пластин.

Площадь поперечного сечения канала для холодного теплоносителя равна площади поперечного сечения канала для горячего теплоносителя:

$$f_2 = f_1, \quad (6)$$

Плотность и удельную теплоемкость теплоносителя находят по справочным таблицам [2] при средней температуре горячего ( $T_1$ ) и холодного ( $T_2$ ) теплоносителей:

$$T_1 = \frac{T_1' + T_1''}{2}, \quad T_2 = \frac{T_2' + T_2''}{2} \quad (7)$$

где  $T'$  и  $T''$  – температуры теплоносителя на входе и выходе из теплообменного аппарата, °С.

Уравнение теплового баланса для однофазных теплоносителей (2) можно записать в виде

$$W_1 \cdot \delta T_1 = W_2 \cdot \delta T_2 \text{ или } \delta T_2 / \delta T_1 = W_1 / W_2, \quad (8)$$

где  $W_1 = G_1 \cdot c_{p1}$  и  $W_2 = G_2 \cdot c_{p2}$  – расходные теплоемкости (водяные эквиваленты) горячего и холодного теплоносителей, Вт/К;  $\delta T_1 = T_1' - T_1''$  и  $\delta T_2 = T_2'' - T_2'$  – изменение температур горячего и холодного теплоносителей в теплообменном аппарате, °С.

Температура теплоносителей вдоль поверхности теплообмена изменяется по экспоненциальному закону. При этом из соотношений (8) следует обратно пропорциональная зависимость между водяными эквивалентами и изменениями температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена (см. рис. 1 и рис. 2):

если  $W_1 > W_2$ , то  $\delta T_1 < \delta T_2$ ;

если  $W_1 < W_2$ , то  $\delta T_1 > \delta T_2$ .

При противоточной схеме движения теплоносителей (рис. 2) выпуклость кривых изменения температуры теплоносителей направлена в сторону большего водяного эквивалента, т.е. в сторону теплоносителя с меньшим изменением температуры.

Среднюю разность температур для прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей рассчитывают по формулам:

$$\overline{\Delta T_a} = \frac{\Delta T_{\max} + \Delta T_{\min}}{2}, \text{ при } \Delta T_{\max} / \Delta T_{\min} \leq 2; \quad (9)$$

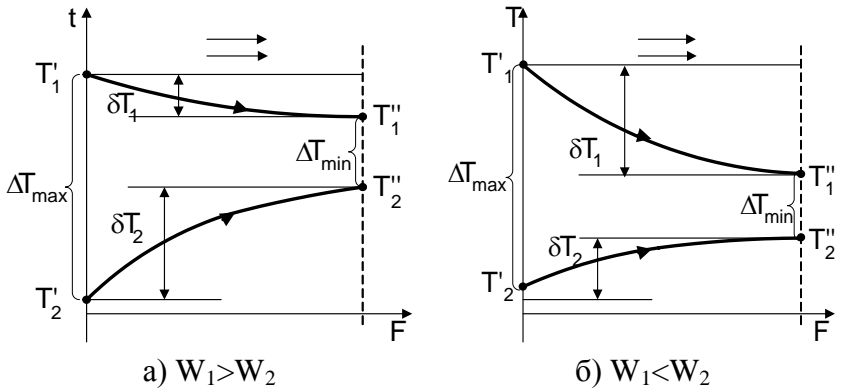


Рис. 1. Изменение температур горячего и холодного теплоносителей вдоль поверхности теплообмена при прямоточной схеме движения в зависимости от соотношения их водяных эквивалентов

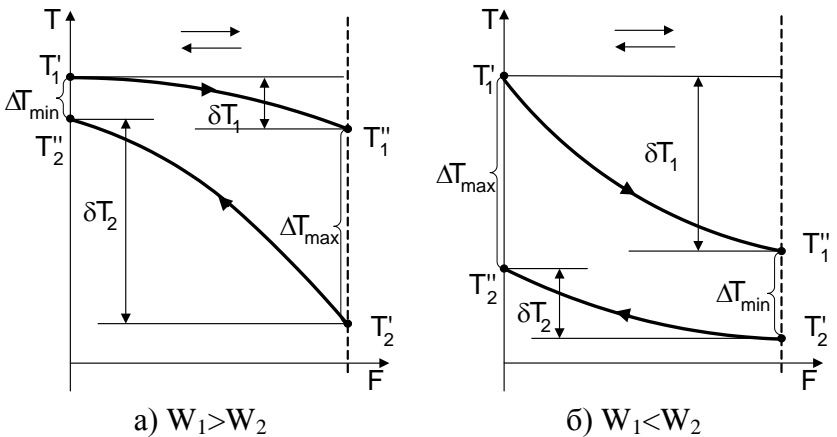


Рис. 2. Изменение температуры горячего и холодного теплоносителей вдоль поверхности теплообмена при противоточной схеме движения в зависимости от соотношения их водяных эквивалентов

или

$$\overline{\Delta T_{\text{л}}} = \frac{\Delta T_{\text{max}} - \Delta T_{\text{min}}}{\ln \frac{\Delta T_{\text{max}}}{\Delta T_{\text{min}}}}, \text{ при } \Delta T_{\text{max}} / \Delta T_{\text{min}} > 2, \quad (10)$$

где  $\Delta T_{\text{max}}$  и  $\Delta T_{\text{min}}$  – максимальная и минимальная разности температур теплоносителей (см. рис.1 и рис.2), °С;  $\Delta T_{\text{a}}$  – среднеарифметическая разность температур, °С;  $\Delta T_{\text{л}}$  – среднелогарифмическая разность температур, °С.

Коэффициент теплопередачи рассчитывают по формуле теплопередачи через плоскую стенку:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (11)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\delta$  – толщина стенки, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·К);  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному теплоносителю, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  рассчитывают по критериальным формулам для вынужденного движения флюида в щелевых каналах, образованных гофрированными пластинами для увеличения турбулизации течения. В этом случае критическое число Рейнольдса перехода от ламинарного режима течения к турбулентному равно  $Re_{\text{кр}} = 50$ . Поэтому средний коэффициент теплоотдачи рассчитывают по критериальным уравнениям в зависимости от режима течения теплоносителя:

– ламинарный режим  $Re \leq 50$

$$\overline{Nu}_f = 0,60 \cdot Re_f^{0,33} \cdot Pr_f^{0,33} \cdot \varepsilon_t; \quad (12)$$

– турбулентный режим  $Re > 50$

$$\overline{Nu}_f = 0,135 \cdot Re_f^{0,73} \cdot Pr_f^{0,43} \cdot \varepsilon_t, \quad (13)$$

где  $Nu = \frac{\alpha \cdot R_0}{\lambda_f}$  – критерий Нуссельта;  $Re = \frac{w_0 \cdot R_0}{\nu}$  – критерий Рейнольдса,  $Pr_f$  – число Прандтля,  $\lambda_f$  – коэффициент теплопроводности флюида, Вт/(м·К),  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с.

Поправку  $\varepsilon_t$  в формулах (12), (13), учитывающую зависимость физических свойств среды от температуры, рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon_t = \left( \frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25}, \quad (14)$$

где критерий Прандтля  $Pr_f$  принимают по справочным данным для текучей среды при средней температуре флюида, а критерий Прандтля  $Pr_w$  принимают по справочным данным для текучей среды при температуре стенки.

Определяющие параметры для расчета критериев в формулах (12) и (13):

— определяющая (характерная) температура – средняя температура воды в канале

$$T_0 = \overline{T}_f = 0,5 \cdot (T_f' + T_f''); \quad (15)$$

— определяющий (характерный) размер канала с горячим и холодным теплоносителем равен

$$R_0 = R_{01} = R_{02} = 2 \frac{\delta_{\text{канала}} \cdot b}{\delta_{\text{канала}} + b}; \quad (16)$$

— определяющая (характерная) скорость – средняя по сечению канала скорость движения флюида



$$w_0 = G / (\rho \cdot f), \quad (17)$$

где  $T_f'$  и  $T_f''$  – температура холодной и горячей воды на входе и выходе из теплообменника, °С;  $\delta_{\text{канала}}$  – толщина канала, м;  $b$  – ширина канала, м;  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с.

### 3. Экспериментальная установка

Внешний вид экспериментальной установки и принципиальная схема её рабочего участка показаны на рис. 4 и рис. 5.

Состав установки:

- 1 – пластинчатый теплообменный аппарат;
- 2 – водонагреватель (термостат);
- 3 – насос водонагревателя;
- 4 – расширительный бачок водонагревателя;
- 5 – вентиль регулирования расхода горячей воды;
- 6 – холодильник для охлаждения воды (радиатор);
- 7 – насос холодильника;
- 8 – расширительный бачок холодильника;
- 9 – счетчик горячей воды;
- 10 – счетчик холодной воды;
- 11 – вентилятор холодильника;
- 12 – вентиль регулирования расхода холодной воды;
- 13 – тумблер «Сеть»;
- 14 – тумблер «Насос радиатора»;
- 15 – тумблер «Вентилятор радиатора»;
- 16 – тумблер «Насос термостата»;
- 17 – тумблер «Нагреватель термостата»;
- 18 – измерители температур ТРМ 200;
- 19 – тумблер включения измерителя температур;
- 20 – импульсный счетчик;
- 21 – ноутбук.

На лабораторном стенде установлен рекуперативный водо-водяной пластинчатый теплообменный аппарат марки СВ14. Горячая и холодная вода движутся по каналам между пластинами по **противоточной** схеме. Толщина канала  $\delta_{\text{канала}} = 1,25$  мм, толщина стенки 0,5 мм. Высота канала  $H = 172$  мм. Ширина канала  $b = 94$  мм. Количество пластин  $n = 24$ . Площадь поверхности теплообмена  $F = 0,336$  м<sup>2</sup>. Материал пластин – нержавеющая сталь Х17.

Горячая вода нагревается в водонагревателе 2 и движется по замкнутому контуру (водонагреватель – теплообменник – водонагреватель) под действием насоса 3.

Для регулирования расхода горячей воды на входе в водонагреватель 2 установлен вентиль 5. Расход горячей воды определяют по импульсному счетчику 20, сигнал на который приходит от счетчика горячей воды 9.

Холодная вода также движется по замкнутому контуру (холодильник – теплообменник – холодильник) под действием насоса 7. В теплообменном аппарате холодная вода получает теплоту от горячей воды и нагревается. Нагретая вода охлаждается в холодильнике 6, который выступает в роли потребителя теплоты. Холодильник состоит из алюминиевого радиатора, постоянно обдуваемого вентилятором 11.

Расход холодной воды определяют по импульсному счетчику 20, сигнал на который приходит от счетчика холодной воды 10. Изменить расход холодной воды можно при помощи вентиля 12.

В теплообменном аппарате измеряют температуры на входе и выходе горячего и холодного теплоносителей. В качестве датчиков температуры использованы термодпары. Все термодпары подключены к измерителям температур 18 в следующей последовательности:

$T_1$  – температура горячего теплоносителя на входе в теплообменный аппарат ( $T_1'$ );

$T_2$  – температура горячего теплоносителя на выходе из теплообменного аппарата ( $T_1''$ );

$T_3$  – температура холодного теплоносителя на входе в теплообменный аппарат ( $T_2'$ );

$T_4$  – температура холодного теплоносителя на выходе из теплообменного аппарата ( $T_2''$ ).

Экспериментальная установка подключена к ноутбуку 21. На ноутбуке установлена программа для сбора экспериментальных данных. Алгоритм работы с программой следующий (см. рис. 3).

1. Запускаем файл «ПластТеплообменник.xls».
2. В нижней части рабочего окна выбираем вкладку «Эксперимент».
3. Нажимаем кнопку «Подключить приборы».
4. При нажатии кнопки «Записать результат измерения» в таблицу записываются текущие значения температур и расходов теплоносителей.
5. При достижении стационарного режима необходимо оформить журнал наблюдений, записав параметры стационарного режима теплообмена (последняя строка таблицы).

#### **4. Порядок проведения эксперимента**

*Внимание! Экспериментальную установку включает и выключает инженер или преподаватель!*

1. Изучить устройство экспериментальной установки и методику проведения эксперимента.
2. Подготовить журнал наблюдений.
3. О готовности к проведению эксперимента сообщить преподавателю.
4. Тумблером 13 «СЕТЬ» включить питание установки.
5. Включить тумблер 16 «НАСОС ТРМОСТАТА».

Подключить приборы		Записать результат измерения				Удалить результаты	
Текущие значения параметров							
Температуры теплоносителей				Расходы теплоносителей			
$T_1$ (горячего теплоносителя на входе)	$T_2$ (горячего теплоносителя на выходе)	$T_3$ (холодного теплоносителя на входе)	$T_4$ (холодного теплоносителя на выходе)	$V_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$V_2, \text{ м}^3/\text{с}$		
44,4	43,1	40,4	43,0	0,0000229	0,0000597		
Результаты измерений							
№ оп	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$	$T_4, ^\circ\text{C}$	$V_1, \text{ м}^3/\text{с}$	$V_2, \text{ м}^3/\text{с}$	
1	44,4	43,1	40,4	43,0	0,0000229	0,0000597	

Рис. 3. Результаты обработки экспериментальных данных по компьютерной программе

6. Вентилем 5 и вентилем 12 установить заданные преподавателем расходы теплоносителей.

7. Тумблером 14 «НАСОС РАДАТОРА» включить насос 7 радиатора (холодильника).

8. Включить вентилятор холодильника тумблером 15 «ВЕНТИЛЯТОР РАДАТОРА».

9. Включить водонагреватель 2 тумблером 17 «НАГРЕВАТЕЛЬ ТЕРМОСТАТА».

10. Включить измерители температуры 18 тумблером 19.

11. Включить импульсный счетчик расхода горячей и холодной воды 20. Счетчик осуществляют фиксацию времени, за которое через рабочий участок установки протекает один литр горячей или холодного теплоносителя.

12. Каждые 5 минут фиксировать в программе сбора экспериментальных данных (в журнале наблюдений, если ноутбук при проведении лабораторной работы не используется) значения температур и расходов теплоносителей.

13. При достижении температуры горячей воды на входе в теплообменный аппарат  $T_1 = 45 \div 50$  °С зафиксировать в журнале наблюдений значения температур  $T_1, T_2, T_3, T_4$  и показания расходов теплоносителей.

14. Об окончании эксперимента доложить преподавателю или инженеру.

### Журнал наблюдений

Лабораторную работу выполнил: студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_  
 Ф.И.О.

Выполнение работы подтверждаю \_\_\_\_\_  
 подпись преподавателя/инженера

№	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T_3, ^\circ\text{C}$	$T_4, ^\circ\text{C}$	$V_1, \text{ м}^3/\text{с}$ ( $\tau_1, \text{ с}$ )	$V_2, \text{ м}^3/\text{с}$ ( $\tau_2, \text{ с}$ )
1						
2						
.						
.						
N						

**Замечание.** Если при выполнении лабораторной работы используется ноутбук и установленная на нем программа сбора и обработки экспериментальных данных, в соответствующие ячейки заносятся значения объемных расходов теплоносителей ( $V_1$  и  $V_2$ ), если нет – значения времени, за которое по рабочему участку лабораторной установки протекает один литр холодного или горячего теплоносителя ( $\tau_1$  и  $\tau_2$ ).

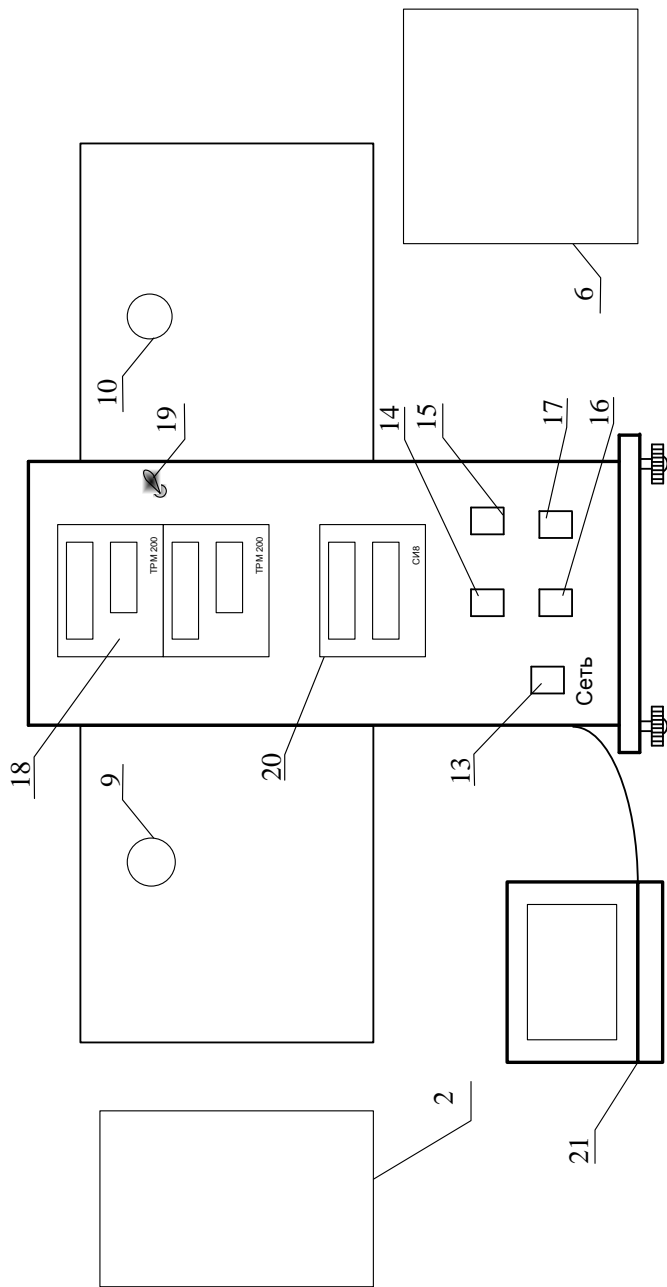


Рис. 4. Внешний вид экспериментальной установки

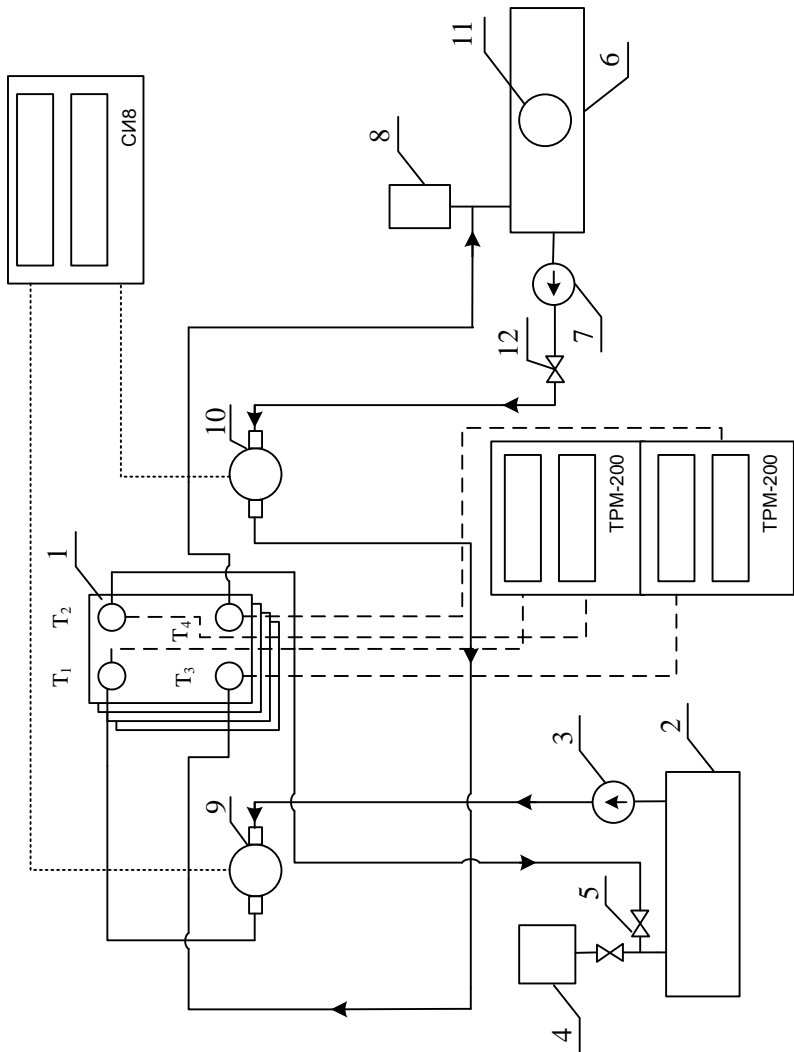


Рис.5. Принципиальная схема рабочего участка

## 5. Обработка результатов эксперимента

1. Найти объемные расходы горячей и холодной воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$V_1 = \frac{0,001}{\tau_1}; \quad (18)$$

$$V_2 = \frac{0,001}{\tau_2}, \quad (19)$$

где  $\tau_1$  – время, за которое через рабочий участок лабораторной установки протекает 1 л горячей воды, с;  $\tau_2$  – время, за которое через рабочий участок лабораторной установки протекает 1 л горячей воды, с.

**Замечание.** Если при выполнении лабораторной работы используется ноутбук, объемные расходы теплоносителей рассчитываются программой сбора и обработки экспериментальных данных автоматически (см. рис. 3).

2. Найти массовые расходы горячей и холодной воды,  $\text{кг}/\text{с}$ :

$$G_1 = \rho_1 \cdot V_1 ; \quad (20)$$

$$G_2 = \rho_2 \cdot V_2 , \quad (21)$$

где  $\rho_1$  – плотность горячей воды, определяемая по справочным таблицам [2] при средней температуре горячей воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_2$  – плотность холодной воды, определяемая по [2] при средней температуре холодной воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

3. Рассчитать теплоту, отдаваемую горячим теплоносителем за одну секунду:

$$Q_1 = G_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_1' - T_1''), \quad (22)$$



где  $c_{p1}$  – массовая изобарная теплоемкость горячей воды, определяемая по [2] при средней температуре горячей воды, Дж/(кг·К).

4. Рассчитать теплоту, воспринимаемую холодным теплоносителем за одну секунду:

$$Q_2 = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_2'' - T_2'), \quad (23)$$

где  $c_{p2}$  – массовая изобарная теплоемкость холодной воды, определяемая по [2] при средней температуре холодной воды, Дж/(кг·К).

5. Найти тепловые потери в окружающую среду:

$$Q_{\text{пот}} = Q_1 - Q_2. \quad (24)$$

6. Построить график изменения температур вдоль поверхности теплообмена (рис.2).

7. Рассчитать среднюю разность температур по формулам (9) или (10).

8. Определить коэффициент теплопередачи по формуле (3), учитывая, что  $Q = Q_2$ :

$$k = \frac{Q_2}{\Delta T \cdot F}, \quad (25)$$

## **6. Теоретическое определение коэффициента теплопередачи**

1. Найти скорости движения теплоносителей:  
— горячей воды

$$w_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot f_1}, \quad (26)$$

где  $f_1$  – площадь поперечного сечения канала для прохода горячего теплоносителя (5);

— холодной воды

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot f_2}, \quad (27)$$

где  $f_2$  – площадь поперечного канала для прохода холодного теплоносителя (6).

2. Рассчитать критерии Рейнольдса:

— для горячей воды

$$Re_1 = \frac{w_1 R_{01}}{\nu_1}, \quad (28)$$

где  $R_{01}$  – определяющий размер для расчета режима движения горячей воды находят по формуле (16);  $\nu_1$  – кинематический коэффициент вязкости горячей воды, определяемый по [2] при средней температуре горячей воды,  $m^2/c$ ;

— для холодной воды

$$Re_2 = \frac{w_2 R_{02}}{\nu_2}, \quad (29)$$

где  $R_{02}$  – определяющий размер для расчета режима движения холодной воды находят по формуле (16);  $\nu_2$  – кинематический коэффициент вязкости холодной воды, определяемый по [2] при средней температуре холодной воды,  $m^2/c$ .

3. По значениям критериев Рейнольдса определить режимы течения каждого из теплоносителей.

Рассчитать безразмерные коэффициенты теплоотдачи – критерии Нуссельта для горячего и холодного теплоносителей по формулам (12) или (13) в зависимости от режима течения теплоносителей.

**Замечание.** Для расчета поправочного коэффициента  $\epsilon_t$ , входящего в формулы (12) и (13) необходимо знать температуры поверхностей пластины, которые находят методом

итераций. В первом приближении температуру стенок  $T_{w1}$  и  $T_{w2}$  можно рассчитать по формулам:

$$T_{w1} = T_1 - \frac{\overline{\Delta T}}{2}; T_{w2} = T_{w1} - 1, \quad (30)$$

где  $\overline{\Delta T}$  – средняя разность температур теплоносителей, °С.

4. Рассчитать коэффициенты теплоотдачи:

— от горячей воды к стенке

$$\alpha_1 = Nu_1 \frac{\lambda_1}{R_{01}}, \quad (31)$$

где  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности горячей воды, определяемый по [2] при средней температуре горячей воды, Вт/(м·К);

— от стенки к холодной воде

$$\alpha_2 = Nu_2 \frac{\lambda_2}{R_{02}}, \quad (32)$$

где  $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности холодной воды, определяемый по [2] при средней температуре холодной воды, Вт/(м·К).

5. Определить коэффициент теплопередачи по формуле (11), принимая коэффициент теплопроводности материала пластины  $\lambda = 24,4$  Вт/(м·К).

6. Сравнить экспериментальное и расчетное значения коэффициента теплопередачи.

### **Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать**

– задание на выполнение лабораторной работы;

- принципиальную схему рабочего участка экспериментального стенда (рис. 5);
- журнал наблюдений;
- результаты обработки эксперимента;
- выводы по работе.

## **7. Контрольные вопросы**

1. *Какие устройства называют теплообменными аппаратами?*
2. *Дайте классификацию теплообменных аппаратов по принципу их действия.*
3. *Дайте определение понятий «теплопередача» и «теплоотдача».*
4. *Дайте определение коэффициента теплоотдачи и коэффициента теплопередачи. Укажите их размерности.*
5. *Напишите уравнение теплового баланса рекуператора.*
6. *Дайте определение понятия «водяной эквивалент»?*
7. *Напишите уравнение теплопередачи в рекуператоре.*
8. *Напишите формулу для расчета коэффициента теплопередачи.*
9. *Изобразите схематично графики изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена.*
10. *Опишите методику расчета средней разности температур в рекуператоре.*
11. *Поясните принцип работы и назначение элементов экспериментальной установки.*
12. *Перечислите измерительные приборы и дайте характеристику измеряемых величин, указав единицы их измерения.*
13. *Поясните методику экспериментального определения коэффициента теплопередачи.*

14. Поясните методику расчета коэффициента теплопередачи по критериальным формулам.
15. Опишите режимы течения горячего и холодного теплоносителей в Вашем эксперименте.
16. Опишите алгоритм расчета коэффициентов теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке и от стенки к холодному теплоносителю.
17. Дайте характеристику понятий «определяющий размер», «определяющая температура», «определяющая скорость».
18. Опишите метод расчета расходов теплоносителей в теплообменном аппарате.
19. Опишите метод расчета скорости движения теплоносителей в теплообменном аппарате.

## 8. Список рекомендуемой литературы

1 **Бухмиров, В.В.** Тепломассообмен для бакалавров: учебное пособие. – Иваново, УИУНЛ ИГЭУ, 2014. – 360 с.

2. **Бухмиров, В.В.** Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен»: учебное пособие / В.В. Бухмиров, Д.В. Ракутина, Ю.С. Солнышкова / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново: ИГЭУ, 2009. – 104 с.

## Содержание

1. Задание	3
2. Основы теории	3
3. Экспериментальная установка	9
4. Порядок проведения эксперимента	11
5. Обработка результатов эксперимента	16
6. Теоретическое определение коэффициента теплопередачи	17
7. Контрольные вопросы	20
8. Список рекомендуемой литературы	22

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В  
ПЛАСТИНЧАТОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ**  
*Методические указания к выполнению лабораторной работы*

Составители: БУХМИРОВ Вячеслав Викторович  
РОДИОНОВ Геннадий Александрович  
ЩЕРБАКОВА Галина Наумовна  
ПРОРОКОВА Мария Владимировна

Редактор Т.В. Соловьева  
Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.

Подписано в печать . Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Печать плоская. Усл.печ.л.1,5. Тираж 100 экз. Заказ № .  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»  
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.  
Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ