

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра энергетики

Ю.В. Путилин
В.В. Мамаев

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ВОДО-ВОДЯНОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ

Методические указания
к лабораторной работе № 14
для студентов очной и заочной форм обучения
всех специальностей по дисциплине «Теплотехника»

Екатеринбург
2010

Печатается по рекомендации методической комиссии ЛМФ.
Протокол № 1 от 24. сентября 2009 г.

Рецензент – доцент, канд. техн. наук А.И. Сафронов

Методические указания предназначены для студентов очной и заочной форм обучения всех специальностей по дисциплине «Теплотехника». Работа выполняется в соответствии с рабочими программами по данной дисциплине и имеет целью закрепление прослушанного лекционного курса и получение практических навыков проведения экспериментальных исследований и выполнения тепловых расчетов.

В методических указаниях приведены основные теоретические положения об изучаемом процессе, описание экспериментальной установки, методики проведения опытов и обработки результатов экспериментов, контрольные вопросы, а также необходимые для расчетов справочные материалы.

Редактор Е.Л. Михайлова
Оператор Г.И. Романова

Подписано в печать 16.03.10.

Плоская печать

Заказ №

Формат 60x84 1/16

Печ. л. 0,7

Поз. 18

Тираж 100 экз.

Цена 4 руб. 00 коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Экспериментальное определение тепловой мощности, среднего температурного напора и значений коэффициента теплопередачи в водяном теплообменнике типа «труба в трубе».

2. Сравнение тепловой эффективности теплообменника при прямой и противоточной схемах движения теплоносителей.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Теплообменный аппарат (теплообменник) – это устройство, предназначенное для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому. В рекуперативных теплообменниках перенос тепла от греющего теплоносителя к нагреваемому осуществляется через разделяющую их твердую стенку. Этот процесс является сложным теплообменом и называется теплопередачей.

Интенсивность теплопередачи характеризуется значением коэффициента теплопередачи K , Вт/(м²·К), численно равным величине теплового потока от одного теплоносителя к другому через поверхность площадью 1 м² разделяющей их стенки при разности температур между теплоносителями в один градус. Его величина определяется интенсивностью всех трех процессов, объединяемых понятием «теплопередача», а именно коэффициентом теплоотдачи от греющего теплоносителя к стенке α_1 , термическим сопротивлением стенки $R_{ст}$ и коэффициентом теплоотдачи от стенки к нагреваемому теплоносителю α_2 .

Для плоской стенки

$$K = \frac{1}{1/\alpha_1 + \delta_{ст}/\lambda_{ст} + 1/\alpha_2}, \quad (1)$$

где $\delta_{ст}$ - толщина стенки;

$\lambda_{ст}$ - коэффициент теплопроводности материала стенки;

$\delta_{ст}/\lambda_{ст} = R_{ст}$ - термическое сопротивление стенки.

Это выражение с достаточной точностью используется и для тонких цилиндрических стенок (труб), если $d_{н}/d_{вн} \leq 1,5$.

Тепловой расчет теплообменных аппаратов производится на основе совместного решения уравнений теплового баланса и теплопередачи.

Уравнение теплового баланса. Без учета потерь теплоты в окружающую среду это уравнение запишется как

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (2)$$

где Q - тепловая мощность аппарата;

Q_1 - тепловой поток, переданный горячим теплоносителем;

Q_2 - тепловой поток, полученный холодным теплоносителем.

Входящие в это уравнение величины Q_1 и Q_2 , кВт, определяются выражениями

$$Q_1 = G_1 c_{p_1} (t'_1 - t''_1), \quad (3)$$

$$Q_2 = G_2 c_{p_2} (t''_2 - t'_2), \quad (4)$$

в которых G_1 и G_2 – массовые расходы горячего и холодного теплоносителя соответственно, кг/с ;

c_{p_1} , c_{p_2} - массовые теплоемкости горячего и холодного теплоносителя при постоянном давлении, кДж/(кг · К) ;

t'_1, t'_2 - температура горячего и холодного теплоносителя на входе в аппарат, °С ;

t''_1, t''_2 - температура горячего и холодного теплоносителя на выходе из аппарата, °С .

Уравнение теплопередачи

$$Q = K F \Delta t_{cp} , \quad (5)$$

где K - коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · К);

F - площадь поверхности теплопередающей стенки, м²;

Δt_{cp} - средняя разность температур теплоносителей (среднелогарифмический температурный напор) в аппарате, °С .

Для расчета среднего по всей поверхности теплообмена (среднелогарифмического) температурного напора используется выражение

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_{\delta} / \Delta t_m)} , \quad (6)$$

где Δt_{δ} , Δt_m - соответственно наибольшая и наименьшая разности температур горячего и холодного теплоносителя на концах аппарата, °С .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема опытной установки представлена на рис.1. Ее основным элементом является теплообменник 1 типа «труба в трубе». По внутренней медной трубке длиной 1,1 м и диаметром 18×1 мм проходит горячая вода из сети горячего водоснабжения. Холодная вода из водопроводной сети движется в кольцевом канале, образованном внешней поверхностью медной трубки и внутренней поверхностью наружной стальной трубы длиной 1,0 м и диаметром 38×2 мм. Расходы обоих теплоносителей регулируются запорными вентилями 2 и 3 и устанавливаются преподавателем.

Схема установки позволяет исследовать как прямоточную, так и противоточную схемы движения теплоносителей. В первом случае горячая и холодная вода в теплообменнике движутся в одном направлении, а во втором - во взаимно противоположном. Установка той или другой схемы движения теплоносителей производится путем изменения направления течения горячей воды с помощью пробковых кранов 5, холодная же вода подается в теплообменник в фиксированном направлении.

Объемные расходы горячей и холодной воды измеряются тахометрическими водосчетчиками 6, а температура теплоносителей на входе и выходе из аппарата - лабораторными ртутными термометрами.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

Опыты проводятся в двух режимах, соответствующих двум значениям расхода каждого теплоносителя. В обоих режимах исследования выполняются как для прямоточной, так и для противоточной схем движения теплоносителей. Установка схемы движения производится преподавателем.

1. Открыть запорные вентили 2, 3 для подачи горячей и холодной воды в теплообменник 1. Установить первый режим.

2. Контролировать установление стационарного теплового режима, о чем свидетельствует достижение постоянных во времени значений температуры обоих теплоносителей на входе и выходе из теплообменника. Для определения этого момента записывать показания соответствующих термометров 4 с интервалом 2-3 мин.

3. При установившемся тепловом режиме выполнить измерения расходов горячей и холодной воды и температур обоих теплоносителей.

3.1. Для определения расходов записать показания водосчетчика в начале (n_n) и в конце (n_k) времени измерения τ (3-5 мин). Рассчитать значение расхода, $\text{м}^3/\text{с}$, по выражению $V = \frac{(n_k - n_n)}{\tau}$.

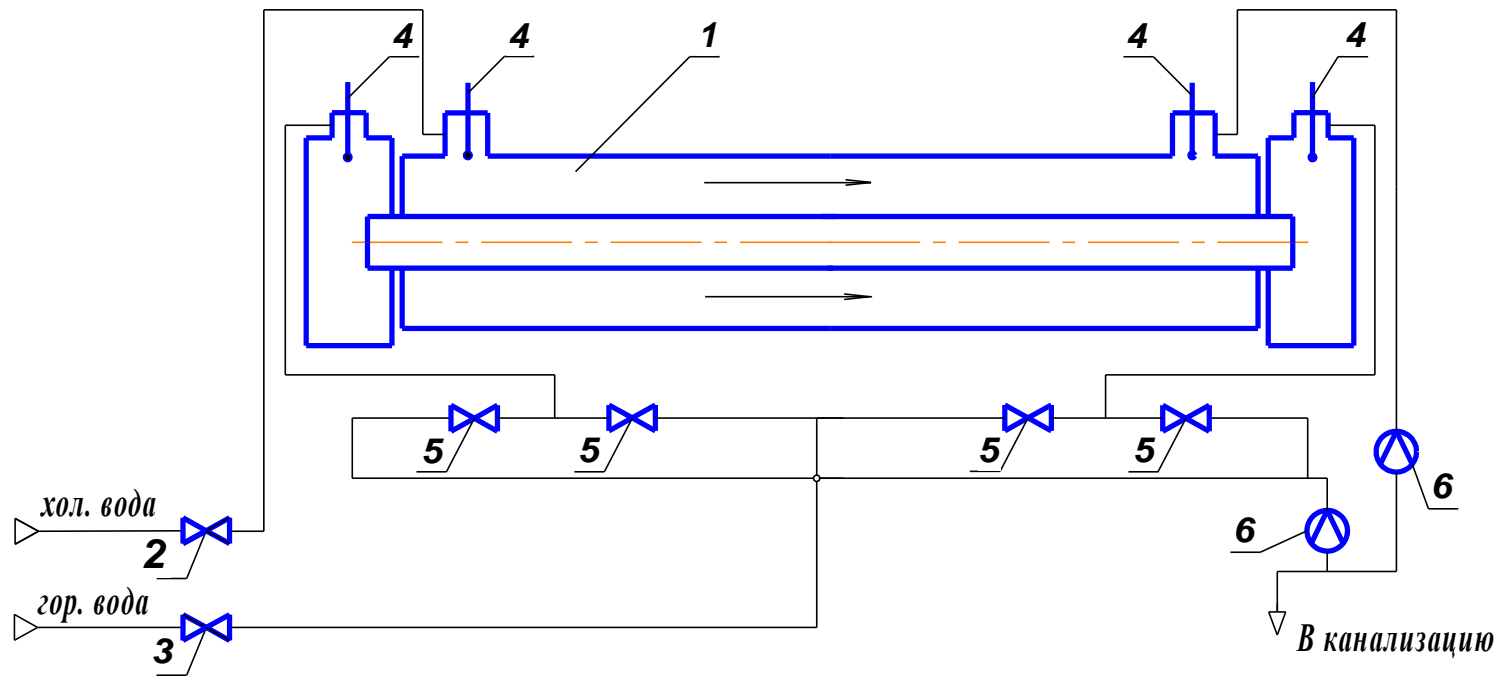


Рис.1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – теплообменник типа «труба в трубе»; 2 – вентиль запорный холодной воды;
 3 – вентиль запорный горячей воды; 4 – термометр лабораторный (4 шт.);
 5 – кран пробковый (4 шт.); 6 – тахометрический водосчетчик (2 шт.)

3.2. Измерение температур теплоносителей производится не менее 3 раз с интервалом 1-2 мин. и вычисляются среднеарифметические значения.

4. С помощью пробковых кранов 5 изменить схему движения теплоносителей в теплообменнике на противоположную (прямоток или противоток) и после достижения стационарности теплового потока произвести соответствующие измерения согласно п. 3.

5. Значение измеренных величин внести в табл. 1.

6. Установить второй режим и повторить опыты в соответствии с п.2-5.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Определяются массовые расходы горячей и холодной воды по выражениям

$$G_1 = \rho V_1, \quad G_2 = \rho V_2.$$

Значения входящей в эти выражения плотности воды ρ принимаются по данным табл. 2 для соответствующих температур горячего и холодного теплоносителей, определяемых как среднее арифметическое между t' и t'' .

2. Вычисляются значения теплового потока Q_1 и Q_2 по уравнениям (3) и (4). Величина входящей в эти выражения массовой теплоемкости c_p принимается по табл. 2 также для средних между входом и выходом значений температуры воды.

3. Рассчитывается средний температурный напор (разность температур) в теплообменнике по формуле (6) с учетом характера изменения температур теплоносителей при разных схемах движения:

$$\text{для противотока} \quad \Delta t_{\delta} = t_1'' - t_2', \quad \Delta t_m = t_1' - t_2''$$

$$\text{для прямотока} \quad \Delta t_{\delta} = t_1' - t_2'', \quad \Delta t_m = t_1'' - t_2'$$

4. Определяются значения коэффициента теплопередачи K по уравнению (5), в котором в качестве F принимается расчетная площадь теплопередающей стенки медной трубки $F_p = \pi d_p l_p$ где $l_p = 1$ м, $d_p = 0,5(d_n + d_{вн}) = 17$ мм.

Причем в случае выполнения условия $Q_1 \approx Q_2$ (с небалансом не более 10-15%) в уравнение (5) в качестве Q подставляется среднеарифметическое между Q_1 и Q_2 значение теплового потока, а при невыполнении баланса значения K рассчитываются отдельно по Q_1 и Q_2 .

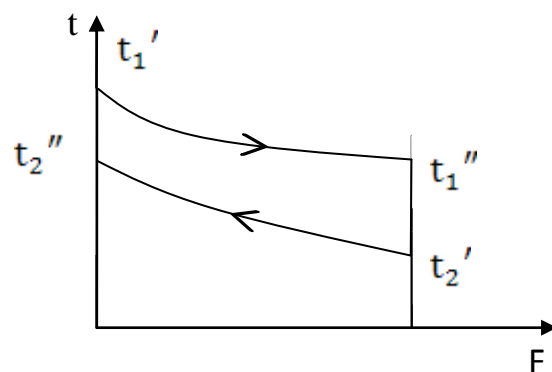
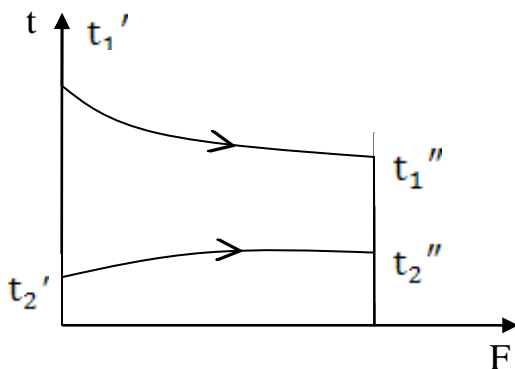
5. Результаты расчетов вносятся в табл. 3.

Таблица 1

Результаты измерений

Наименование величины, обозначение, размерность	I режим		II режим	
	прямоток	проти- воток	прямоток	проти- воток
Г О Р Я Ч А Я В О Д А				
Показания водосчетчика в начале отсчета, $n_{1н}, \text{м}^3$ в конце отсчета, $n_{1к}, \text{м}^3$				
Время отсчета $\tau_1, \text{с}$				
Объемный расход $V_1, \text{м}^3/\text{с}$				
Температура на входе $t'_1, \text{°C}$				
Температура на выходе $t''_1, \text{°C}$				
Х О Л О Д Н А Я В О Д А				
Показания водосчетчика в начале отсчета, $n_{2н}, \text{м}^3$ в конце отсчета, $n_{2к}, \text{м}^3$				
Время отсчета $\tau_2, \text{с}$				
Объемный расход $V_2, \text{м}^3/\text{с}$				
Температура на входе $t'_2, \text{°C}$				
Температура на выходе $t''_2, \text{°C}$				

6. Для одного из режимов строятся графики изменения температур горячей и холодной воды по мере их движения в теплообменнике $t = f(F)$ для прямоточной и противоточной схем



7. Производится оценка тепловой эффективности теплообменника при разных схемах движения теплоносителей.

Таблица 2

Физические свойства воды на линии насыщения

t, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80
ρ , кг/м ³	999,9	999,7	998,2	995,7	922,2	988,1	983,1	977,8	971,8
c_p , кДж/(кг·К)	4,212	4,191	4,183	4,174	4,174	4,174	4,179	4,187	4,195

Таблица 3

Результаты обработки опытных данных

№ п/п	Наименование величины, обозначение, размерность	I режим		II режим	
		прямоток	противоток	прямоток	противоток
1	Массовый расход горячей воды G_1 , кг/с				
2	Массовый расход холодной воды G_2 , кг/с				
3	Тепловой поток от горячей воды Q_1 , кВт				
4	Тепловой поток к холодной воде Q_2 , кВт				
5	Максимальный температурный напор Δt_δ , °C				
6	Минимальный температурный напор Δt_m , °C				
7	Среднегарифмический температурный напор Δt_{cp} , °C				
8	Расчетная площадь поверхности теплообмена F_p , м ²				
9	Коэффициент теплопередачи Вт/(м ² ·К)				
	K_1 (расчет по Q_1)				
	K_2 (расчет по Q_2)				
	K (расчет по Q_{cp})				

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен включать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) принципиальную схему установки;
- 3) результаты измерений (см. табл. 1);
- 4) результаты обработки опытных данных (см. табл. 3);
- 5) графики изменения температур теплоносителей при прямотоке и противотоке в одном из режимов;
- 6) оценку эффективности теплообменника при разных схемах движения теплоносителей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется рекуперативным теплообменным аппаратом?
2. Какой тепловой процесс называется стационарным?
3. Что характеризует коэффициент теплопередачи?
4. Какова размерность и физический смысл коэффициента теплопередачи?
5. Назовите основные уравнения теплового расчета теплообменника.
6. Что называется среднелогарифмическим температурным напором теплообменника?
7. При какой схеме движения теплоносителей тепловая эффективность аппарата выше?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Королев, В. Н. Тепломассообмен [Текст] / В.Н. Королев, В.В. Мамаев. Екатеринбург: УГЛТА, 2000. 189 с.
2. Осипова, В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] / В.А. Осипова. М.: Энергия, 1979. 320 с.
3. Теплотехника [Текст] / под ред. А.П. Баскакова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 224 с.