

Работа ТП-03
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ
ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ
НА ПОВЕРХНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА

Цель работы — ознакомление с основами конвективного теплообмена при естественной конвекции; освоение методики экспериментального исследования процесса теплообмена и методики обобщения полученных результатов.

Содержание работы

1. Определение среднего значения коэффициента теплоотдачи на поверхности горизонтального цилиндра в условиях естественной конвекции при трех значениях температурного перепада.

2. Обработка результатов эксперимента, предоставление их в виде критериальной зависимости и сравнение полученной зависимости с известной расчетной зависимостью.

С основами теории теплообмена при естественной конвекции следует ознакомиться по указаниям к лабораторной работе ТП-04.

Описание установки

Принципиальная схема экспериментальной установки для определения коэффициента теплоотдачи при естественной конвекции в неограниченном пространстве около горизонтального цилиндра представлена на рис. 3.1. Установка выполнена в виде сборной конструкции, которая включает в себя рабочий участок 11, панель управления 15, блок регулирования мощности 16 и блок измерения температуры 17. Рабочий участок представляет

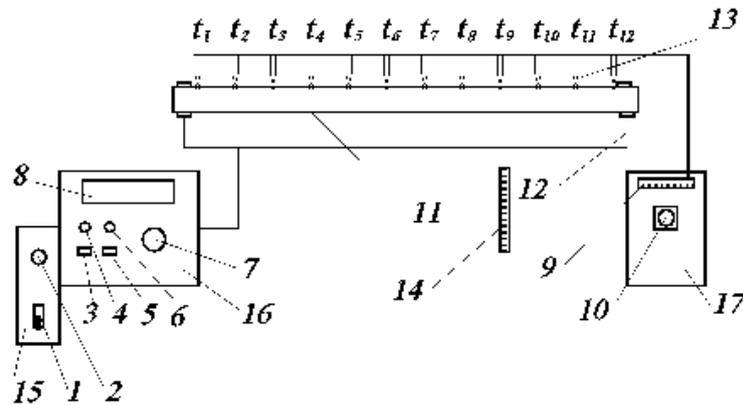


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки:

1 – тумблер подачи напряжения; 2 – индикатор подачи напряжения; 3 – кнопка подачи напряжения на рабочий участок; 4 – индикатор подачи напряжения на рабочий участок; 5 – кнопка отключения подачи напряжения на рабочий участок; 6 – индикатор перегрузки; 7 – регулятор мощности; 8 – комбинированный цифровой прибор ЦЦ-4313; 9 – милливольтметр МВУ-41А; 10 – переключатель-коммутатор; 11 – рабочий участок; 12 – токоподающие шины; 13 – термопары; 14 – ртутный термометр; 15 – панель управления; 16 – блок регулирования мощности; 17 – блок измерения температуры

собой металлическую тонкостенную трубу наружным диаметром $d = 20$ мм (или 9,5 мм) и длиной 874 мм, расположенную горизонтально. Торцы трубы теплоизолированы. Труба нагревается в результате пропускания электрического тока низкого напряжения. Панель управления установкой включает в себя тумблер 1 подачи напряжения и индикатор 2 подачи напряжения. Блок мощности состоит из кнопки 3 подачи напряжения на рабочий участок, индикатора 4 подачи напряжения на рабочий участок, кнопки 5 отключения подачи напряжения на рабочий участок и индикатора перегрузки 6. Для измерения напряжения, подаваемого на рабочий участок, в блоке регулирования мощности 16 используется комбинированный цифровой прибор 8 (ЦЦ-4313), для регулирования напряжения на рабочем участке – автотрансформатор. Плавная регулировка напряжения осуществляется с помощью регулятора мощности 7. Эксперимент проводят на трех режимах нагрева при напряжении $U_1 = 0,8$ В; $U_2 = 1,3$ В; $U_3 = 1,7$ В.

На поверхности трубы заделаны 12 горячих спаев (значения температуры t_1, \dots, t_{12}) хромель-копелевых термопар 13, свободные концы которых выведены на блок измерения температуры 17. В блоке измерения температуры коммутация сигнала с термопар производится с помощью переключателя коммутатора 10. ТермоЭДС термопар измеряется милливольтметром 9 (МВУ-41А) со шкалой, градуированной в градусах Цельсия. Милливольтметр снабжен устройством КТ-3 для автоматической компенсации изменения температуры холодного спая термопары. При принятой в настоящей работе схеме нагрева цилиндра тепловой поток является постоянным и на большей части рабочего участка 11 (за исключением участков, прилегающих к токоподающим шинам 12) направлен по нормали к поверхности. Поэтому при усреднении значений температуры поверхности цилиндра показания четырех крайних термопар не учитывают, в расчет входят значения восьми термопар (значения температуры t_3, \dots, t_{10}).

Температура окружающей среды ($t_{ж}$) измеряется с помощью ртутного термометра 14. В работе применяются приборы первого класса точности.

Порядок выполнения работы

1. Включить тумблер 1 подачи напряжения на панели управления.
2. Включить комбинированный цифровой прибор 8 на блоке регулирования мощности 16.
3. Включить подачу напряжения на рабочий участок, нажав кнопку 3.
4. Установить значение напряжения $U_1 = 0,8$ В для первого режима на рабочем участке поворотом регулятора мощности 7, при этом осуществляется плавная регулировка. Установленное значение падения напряжения U снимается с комбинированного цифрового прибора 8.
5. Через 10...15 мин после установления стационарного температурного режима измерить значения температуры (t_3, \dots, t_{10}) и результаты измерений занести в протокол наблюдений.
6. Установить значения напряжения $U_2 = 1,3$ В и $U_3 = 1,7$ В и повторить действия пп. 4, 5 для второго и третьего режимов.

7. Отключить подачу напряжения на рабочий участок, нажав кнопку 5.

8. Выключить комбинированный цифровой прибор 8 на блоке регулирования мощности 16.

9. Выключить тумблер 1 подачи напряжения на панели управления.

Обработка результатов измерений

Определить количество теплоты, передаваемое от поверхности трубы окружающей среде в единицу времени, Вт:

$$Q = \frac{U^2}{R},$$

где U — напряжение, подаваемое на нагреватель и измеряемое прибором 8, В; $R = 0,068$ Ом для трубы диаметром $d = 20$ мм и $R = 0,0438$ Ом для трубы диаметром $d = 9,5$ мм.

Рассчитать среднюю температуру поверхности трубы, °С:

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=3}^{10} t_i}{8}.$$

Найти разность средней температуры поверхности трубы и окружающей среды (жидкости):

$$\Delta t = t_{\text{ср}} - t_{\text{ж}},$$

где $t_{\text{ж}}$ — температура окружающей среды, °С.

Определить коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К):

$$\alpha = \frac{Q}{\Delta t F},$$

где $F = \pi dl$ — площадь поверхности теплообмена, м².

Теплота Q передается окружающей среде не только естественной конвекцией, но и излучением. Поэтому полученное в результате эксперимента значение коэффициента теплоотдачи является суммарным:

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}.$$

Коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{\text{л}}$ определяют по уравнению

$$\alpha_{\text{л}} = \varepsilon \cdot 5,67 \frac{\left(\frac{T_{\text{ср}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ж}}}{100}\right)^4}{t_{\text{ср}} - t_{\text{ж}}},$$

где $\varepsilon = 0,6$ — степень черноты поверхности трубы; $T_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} + 273$ — абсолютная средняя температура трубы, К; $T_{\text{ж}} = t_{\text{ж}} + 273$ — абсолютная температура окружающей среды, К.

Определить коэффициент теплоотдачи конвекцией

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha - \alpha_{\text{л}}.$$

Найти определяющую температуру, °С, в качестве которой принять среднее между значениями температуры окружающей среды и поверхности трубы:

$$t_m = (t_{\text{ж}} + t_{\text{ср}})/2.$$

Из табл. 3.1 по температуре t_m определяют теплофизические параметры воздуха: λ_m — теплопроводность, Вт/(м·К); ν_m — кинематическую вязкость, м²/с; Pr_m — критерий Прандтля; a — коэффициент температуропроводности, м²/с.

Таблица 3.1

Физические параметры сухого воздуха при нормальном давлении

$t, \text{°C}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м·К)}$	$a \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
10	2,51	20,06	14,16	0,705
20	2,59	21,42	15,06	0,703
30	2,67	22,54	16,00	0,701
40	2,75	24,26	16,96	0,699
50	2,82	25,72	17,95	0,698
60	2,89	27,26	18,97	0,696
70	2,96	28,85	20,02	0,694
80	3,04	30,48	21,09	0,692
90	3,12	32,03	22,10	0,690
100	3,20	33,62	23,13	0,688
120	3,33	37,10	25,45	0,686

Окончание табл. 3.1

$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$a \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
140	3,48	40,64	27,80	0,684
160	3,63	44,12	30,09	0,682
180	3,77	47,71	32,49	0,681
200	4,55	51,25	34,85	0,680

Рассчитать критерий Нуссельта

$$\text{Nu}_m = \frac{\alpha d}{\lambda_m},$$

где d — диаметр цилиндра, м.

Рассчитать критерий Грасгофа

$$\text{Gr}_m = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\nu_m^2},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; β — коэффициент объемного расширения среды, К^{-1} . Для идеального газа можно принять $\beta = 1/T_m$.

В логарифмических координатах $\lg \text{Nu}_m - \lg(\text{Gr} \cdot \text{Pr})_m$ построить график известной для этого случая теплообмена зависимости

$$\text{Nu}_m = 0,54 \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})_m^{0,25}$$

и нанести на него экспериментальные точки.

Определить предельную относительную погрешность измерения в соответствии с указаниями, приведенными в работе ТП-04.

Отчет о работе должен содержать оформленный протокол испытаний и обработки результатов.

Контрольные вопросы

1. Какой вид теплообмена называется естественной конвекцией?
2. Напишите формулу Ньютона — Рихмана.
3. Что называется коэффициентом теплоотдачи? Объясните его физический смысл.
4. От каких параметров зависит коэффициент теплоотдачи?

5. Как обобщить результаты экспериментов по исследованию теплообмена при естественной конвекции?

6. Какие критерии являются определяющими при решении задач теплообмена при естественной конвекции?

7. Как экспериментально определить количество теплоты, отдаваемое поверхностью трубы воздуху вследствие естественной конвекции?

8. Объясните, в чем заключается физический смысл критерия Nu .

9. Объясните, в чем заключается физический смысл критерия Gr .

10. Объясните, в чем заключается физический смысл критерия Pr .