

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 26.12.2021 15:29:47
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb134225d1e67d0c

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра управления инновациями
Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
проректор по учебной работе
Е.А.Кудряшов

«*Е.А. Кудряшов*» 2012г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЫ ПРИ СВОБОДНОМ ДВИЖЕНИИ ВОЗДУХА

Методические указания к лабораторной работе
по теплотехнике для студентов технических специальностей

УДК 621.226.

Составители: И.Р.Чеховский, И.И.Сокол, Л.Е.Кудрявцева,
В.А.Кудрявцев.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Г.Г.Щедрина*

Определение коэффициента теплоотдачи горизонтальной трубы при свободном движении воздуха: методические указания к лабораторной работе по теплотехнике для студентов технических специальностей/ Юго-Зап. гос. ун-т.; сост.: И.Р.Чеховский, И.И.Сокол, Л.Е. Кудрявцева, В.А.Кудрявцев, Курск, 2012. 8с., ил.1, табл. 2. Библиогр.: с. 8.

Излагаются методические рекомендации по опытному и теоретическому определению коэффициента теплоотдачи при свободном движении воздуха.

Работа предназначена для студентов технических специальностей

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л.0,46.Уч. изд.л.0,42.Тираж экз.Заказ Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября

Целью работы является углубление знаний по теории конвективного теплообмена, ознакомление с методикой опытного исследования процесса теплообмена и получение навыков в проведении эксперимента.

Задание

1. Определить опытным путём коэффициент теплоотдачи конвекцией от горизонтальной трубы к воздуху.
2. Вычислить теоретическое значение коэффициента теплоотдачи от горизонтальной трубы к воздуху по критериальному уравнению и сравнить его с опытным значением.
3. Составить отчёт по работе.

Теоретическая часть

В жидкостях и газах перенос тепла происходит при перемещении и перемешивании частиц с различной температурой. Обычно жидкости и газы нагреваются или охлаждаются при соприкосновении с поверхностями твердых тел.

Процесс теплообмена между поверхностью твердого тела и жидкостью или газом называется теплоотдачей или конвективным теплообменом. При этом перенос тепла осуществляется конвекцией и теплопроводностью.

В лабораторной работе рассматривается процесс теплоотдачи длинного цилиндра (трубы), расположенного в воздушной среде. Вдали от трубы воздух неподвижен и имеет постоянную температуру, равную t_f , а температура поверхности трубы не меняется во времени и равна t_w . Вблизи трубы температура воздуха изменяется от t_w до t_f , поэтому плотность воздуха у поверхности трубы будет меньше, чем вдали от неё. Вследствие разности плотностей воздуха возникает подъёмная сила, которая перемещает нагретые частицы воздуха вверх. На место переместившихся частиц воздуха поступают холодные частицы.

Движение воздуха, обусловленное разностью плотностей нагретых и холодных частиц, называют свободной или естественной конвекцией. Если движение газа или жидкости создаётся вентилятором или насосом, то конвекция называется вынужденной.

Тепловой поток, отдаваемый конвекцией от нагретой поверхности к жидкости или газу, определяется по формуле Ньютона-Рихмана

$$Q_k = \alpha_k \cdot F \cdot (t_w - t_f), \quad (1)$$

где Q_k – тепловой поток, отдаваемый конвекцией, Вт; F – поверхность трубки, м²; t_w – температура поверхности трубки, °С; t_f – температура воздуха вдали от трубки, °С; α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К).

Коэффициент теплоотдачи α_k определяет интенсивность теплообмена и равен количеству тепла, отдаваемого в единицу времени единицей поверхности при разности температур поверхности и воздуха 1 К.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией α_k зависит от скорости движения жидкости или газа, от температуры поверхности t_w , температуры газа (жидкости) t_f , физических свойств газа (жидкости), размеров и формы поверхности тела, его положения и многих других факторов, т.е.

$$\alpha_k = f(w, t_w, t_f, \rho, c, \lambda, \beta, \nu, d_1, d_2, \ell \dots).$$

Поэтому в расчетах конвективного теплообмена определение коэффициента теплоотдачи α_k вызывает большие затруднения.

Из опыта можно найти коэффициент теплоотдачи α_k только для конкретной среды и для заданных условий эксперимента. Для переноса полученных результатов на другие рабочие среды и другие условия эксперимента прибегают к теории подобия.

Для установления подобия физических процессов отдельные физические размерные величины объединяют в безразмерные комплексы, которые называют критериями или числами подобия и которым присваивают имена выдающихся ученых.

Основные критерии теплового подобия: Nu – критерий Нуссельта; Pr – критерий Прандтля; Gr – критерий Грасгофа; Re – критерий Рейнольдса.

Критерий Нуссельта характеризует теплообмен на границе между стенкой и жидкостью (газом).

$$Nu = \alpha_k \cdot \ell / \lambda_f, \quad (2)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); ℓ – определяющий размер поверхности теплообмена, м; λ_f – коэффициент теплопроводности жидкости или газа при определяющей температуре, Вт/(м·К).

Критерий Прандтля характеризует влияние теплофизических свойств жидкости (газа) на теплообмен.

$$Pr=(\nu \cdot \rho \cdot c_p) / \lambda = \nu / a, \quad (3)$$

где $\rho, \lambda, a, c_p, \nu$ - соответственно плотность, кг/м³; коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); коэффициент температуропроводности, м²/с; изобарная массовая теплоёмкость, Дж/(кг·К); коэффициент кинематической вязкости жидкости или газа, (м²/с), при определяющей температуре.

Критерий Грасгофа характеризует подъёмную силу, возникающую в жидкости или газе вследствие разности плотностей.

$$Gr=(g \cdot \beta \cdot \ell^3 \cdot \Delta t) / \nu^2, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; β - температурный коэффициент объёмного расширения жидкости или газа, 1/К; ℓ - определяющий размер поверхности теплообмена, м; Δt - разность температур поверхности тела и жидкости, К.

Критерий Рейнольдса определяет гидромеханическое подобие течения жидкостей (газов) и характеризует режим движения жидкостей (газов).

$$Re=w \cdot \ell / \nu, \quad (5)$$

где w – определяющая скорость жидкости или газа, м/с; ℓ - определяющий размер, м (например, диаметр трубы, длина пластины и т.д.).

Если физические процессы подобны друг другу, то одноименные критерии подобия имеют одинаковую величину (1-я теорема подобия). Согласно второй теореме подобия связь между критериями подобия можно представить в виде зависимости

$$Nu=f(Re, Pr, Gr \dots). \quad (6)$$

При свободном движении воздуха в неограниченном пространстве критериальное уравнение имеет вид

$$Nu=C(Gr \cdot Pr)^n, \quad (7)$$

где C и n – постоянные опытные величины.

Описание опытной установки

Опытная установка представляет собой горизонтальную медную трубу диаметром $d=0,025$ м и длиной $\ell=0,935$ м. Внутри трубы находится электрический нагреватель 7. Мощность, потребляемая нагревателем, регулируется лабораторным автотрансформатором 8 и измеряется ваттметром 9.

Для измерения температуры поверхности трубы t_w в её стенке заложены хромель-копелевые термопары 1-5, а температура воздуха вдали от трубки t_f измеряется термопарой 6. Термопары 1-6 подключены к шеститочечному автоматическому потенциометру 10. По шкале потенциометра производится отсчет температур в $^{\circ}\text{C}$. Торцы трубки защищены тепловой изоляцией 11.

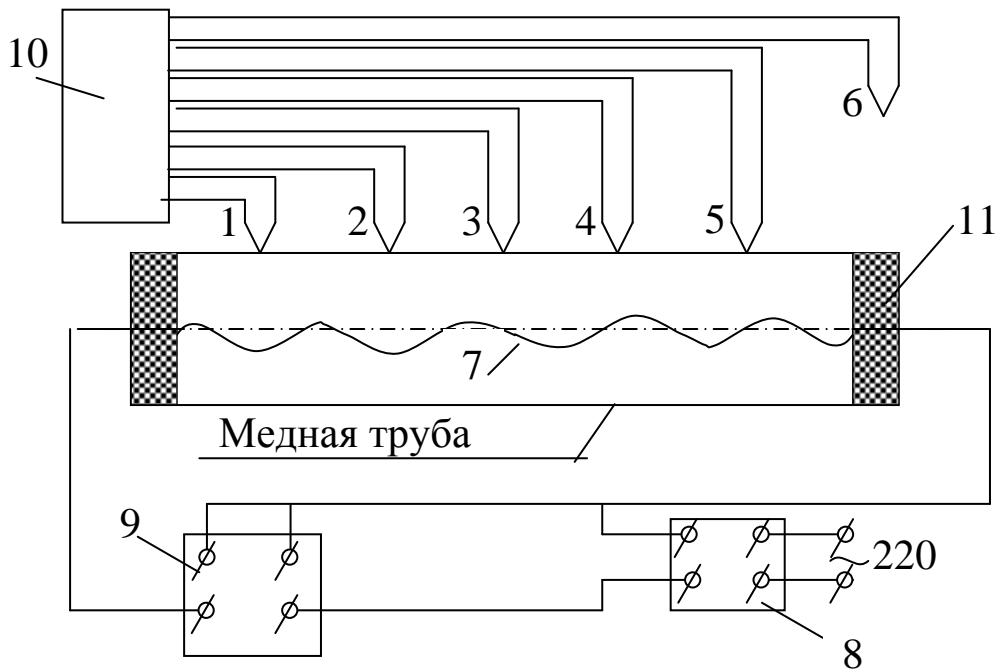


Рис. Опытная установка

Проведение опыта

Установку включает и выключает преподаватель. Тепловой режим трубы регулируется при помощи автотрансформатора 8. Установив мощность нагревателя (40-60 Вт), необходимо следить за тем, чтобы она оставалась неизменной в течение всего опыта. Установка прогревается примерно 50-60 минут. После того как наступит стационарное состояние, записывают показания всех термопар 1-6 в табл.1. Производят три записи показаний термопар, делая интервал между записями 1-2 мин.

Таблица 1

Протокол испытаний

Номера термопар	1	2	3	4	5	6
Измеряемая температура	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
1 замер						
2 замер						

3 замер						
Среднее значение						
Мощность электрического нагревателя $Q=.....$ Вт.						

Обработка результатов опыта

1. Определение α_k опытным путем

1.1. Определяется средняя температура поверхности трубки $t_w, ^\circ\text{C}$.

$$t_w = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) / 5, \quad (8)$$

где t_1, t_2, \dots, t_5 – средние значения температур поверхности трубки в т.т. 1-5.

1.2. Вычисляется поверхность трубки $F, \text{ м}^2$.

$$F = \pi \cdot d \cdot \ell, \quad (9)$$

где d – диаметр трубки, м; ℓ – длина трубки, м.

Измеренная в опыте мощность электрического нагревателя отдаётся поверхностью трубки в окружающую среду двумя путями: лучистым $Q_{\text{л}}$ и конвективным $Q_{\text{к}}$, т.е. общий тепловой поток состоит из двух потоков

$$Q = Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}}. \quad (10)$$

1.3. Определяется тепло $Q_{\text{л}}, \text{ Вт}$, отдаваемое трубкой в окружающую среду путём теплового излучения.

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon \cdot c_0 \cdot F \cdot \{ [(273 + t_w) / 100]^4 - [(273 + t_f) / 100]^4 \}, \quad (11)$$

где $\varepsilon = 0,38$ – степень черноты поверхности трубки; $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент лучеиспускания абсолютно чёрного тела.

1.4. Находится тепло $Q_{\text{к}}, \text{ Вт}$, отдаваемое трубкой в окружающую среду путем конвекции.

$$Q_{\text{к}} = Q - Q_{\text{л}}. \quad (12)$$

1.5. Вычисляется коэффициент теплоотдачи $\alpha_k, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ из уравнения Ньютона-Рихмана (1).

$$\alpha_k = Q_{\text{к}} / [F(t_w - t_f)]. \quad (13)$$

2. Определение теоретического значения α_k

2.1. Критерий Gr_f определяется по уравнению (4).

$$Gr_f = \frac{g \cdot d^3}{\nu_f^2} \cdot \beta_f (t_w - t_f),$$

где $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$, d – внешний диаметр трубы, м; t_w – температура поверхности трубы, $^\circ\text{C}$; t_f – температура воздуха вдали от трубки, $^\circ\text{C}$;

ν_f – коэффициент кинематической вязкости воздуха при температуре t_f , $\text{м}^2/\text{с}$; $\beta_f=1/(273+t_f)$ -коэффициент термического расширения, $1/\text{К}$.

2.2. Вычисляется значение критерия Nu_f .

$$Nu_f=0,5(Gr_f \cdot Pr_f)^{0,25}, \quad (14)$$

где $C=0,5$, $n=0,25$ - для горизонтальной трубы.

Значения коэффициента теплопроводности, λ_f , коэффициента кинематической вязкости, ν_f , и критерия Прандтля, Pr_f , находим из табл.2 по температуре t_f .

2.3. Из критерия Нуссельта Nu_f находится коэффициент теплоотдачи конвекцией.

$$\alpha_k=Nu_f \cdot \lambda_f/d. \quad (15)$$

После этого сравниваются значения α_k , полученные опытным и теоретическим путем .

Таблица 2

Физические параметры сухого воздуха при давлении 101325 Па

$t, ^\circ\text{C}$	10	20	30
$\lambda_f, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	0,02551	0,0259	0,0267
$\nu_f, \text{м}^2/\text{с}$	$14,16 \cdot 10^{-6}$	$15,06 \cdot 10^{-6}$	$16,01 \cdot 10^{-6}$
Pr_f	0,705	0,703	0,701

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое теплоотдача? Что такое естественная конвекция?
2. Основное уравнение теплоотдачи.
3. Коэффициент теплоотдачи, физический смысл, размерность.
4. Критериальное уравнение теплоотдачи при свободной конвекции.
5. Критерии подобия, формулы, физический смысл.
6. Определяющий размер и определяющая температура.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теплотехнические измерения и приборы /Г.И.Иванова, Н.Д.Кузнецов, В.С.Чистяков. – М.: МЭИ, 2005. 450с.
2. Теплотехника: Учеб. для вузов/А.П.Баскаков, Б.В.Берг, О.К.Витт и др.; Под ред. А.П.Баскакова. -М.: ООО «ИД “Бастет”», 2010.-328с.
3. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред В.М.Зорина: М.: Энергоатом-

издат, 1988, 560 с.

4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача.-
М.: Высш. шк., 1980.-469 с.