



В.В. Мамаев

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ
СВОБОДНОМ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ
В НЕОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

Екатеринбург
2012

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра энергетики

В.В. Мамаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ СВОБОДНОМ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ В НЕОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Методические указания к лабораторной работе 16 по дисциплине
«Теплотехника» для студентов направлений 150400, 190500, 240100,
250400, 270100, 280200 и специальностей 150405, 190601, 190603, 190701,
190702, 240406, 240502, 250401, 250403, 280201, 280202

Екатеринбург
2012

Печатается по рекомендации методической комиссии ЛМФ.
Протокол № 1 от 10.09.2011 г.

Редактор Е.Л. Михайлова
Оператор Е.В. Карпова

Подписано в печать

Плоская печать

Заказ №

Формат 60^x84 ¹/₁₆

Печ. л. 0,7

Поз. 49

Тираж 10 экз.

Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Цель работы: исследовать интенсивность теплоотдачи при свободном движении (конвекции) воздуха; полученные экспериментально результаты сравнить с рассчитанными по критериальному уравнению.

Процесс теплообмена при свободном движении жидкости (под жидкостью следует понимать либо газ, либо капельную жидкость) широко используется в различных отраслях промышленности. Свободным называется движение, обусловленное разностью плотностей нагретых и холодных частиц жидкости вследствие теплообмена с поверхностью. В общем случае интенсивность такого движения, а следовательно, и теплоотдачи зависит от физических свойств жидкости, разности температур поверхности и жидкости, формы, размеров и положения поверхности.

Для горизонтальной трубы при свободном движении жидкости в неограниченном пространстве интенсивность теплоотдачи характеризуется следующим критериальным уравнением:

$$\overline{Nu}_{ж,\alpha} = 0,5 (Gr_{ж,\alpha} Pr_{ж})^{0,25} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25}, \quad (1)$$

где $\overline{Nu}_{ж,\alpha}$ - критерий Нуссельта,

$Gr_{ж,\alpha}$ - критерий Грасгофа,

$Pr_{ж}$ - критерий Прандтля, определяемый при температуре жидкости $t_{ж}$;

Pr_c - критерий Прандтля при температуре стенки.

Для воздуха критерий Прандтля практически не изменяется и равняется 0,7, поэтому для горизонтальной трубы, охлаждаемой в воздухе, зависимость (1) принимает следующий вид:

$$\overline{Nu}_{ж,\alpha} = 0,46 Gr_{ж,\alpha}. \quad (2)$$

При расчете $\overline{Nu}_{ж,\alpha}$ и $Gr_{ж,\alpha}$ в качестве определяющего размера принят наружный диаметр трубы, а определяющей температуры – температура воздуха вдали от трубы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема экспериментальной установки представлена на рис.1. Её основными элементами являются две горизонтальные трубки разного диаметра, внутри которых размещены электрические нагреватели 8. Изменение интенсивности нагревания трубок производится автотрансформатором 12. Напряжение на клеммах автотрансформатора U измеряется вольтметром 11. Сила тока в нагревателях определяется амперметром 10, подключаемым либо к одной трубке, либо к двум трубкам одновременно с помощью выключателя 9.

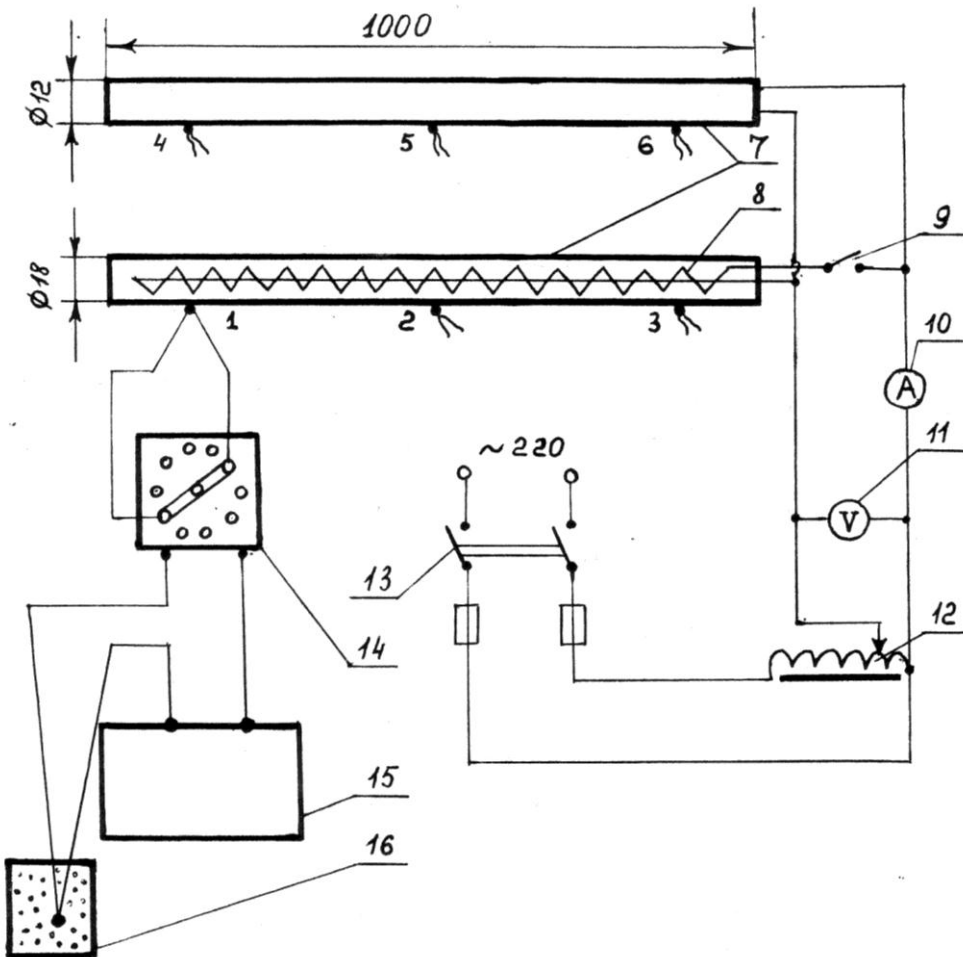


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1–6 – термопары; 7 – экспериментальные трубки; 8 – электронагреватели трубок; 9 – выключатель; 10 – амперметр; 11 – вольтметр; 12 – автотрансформатор; 13 – рубильник; 14 – переключатель термопар; 15 – потенциометр; 16 – термостат

Измерение температуры наружной поверхности трубок t_c производится термопарами 1 – 6, подключенными через переключатель 14 к потенциометру 15, который регистрирует ЭДС термопар E . Температуры t_c находятся по графику зависимости $t_c=f(E)$. Холодные спаи термопар помещаются в термостат 16, заполненный тающим льдом. Температура окружающего воздуха $t_{ж}$ измеряется лабораторным термометром.

Порядок проведения опытов и обработка результатов измерений

Опыты проводятся одновременно на двух трубках при двух различных тепловых режимах, которые задаются преподавателем. При этом необходимо следить, чтобы воздух возле установки был в спокойном со-

стоянии. Открытые двери и окна, резкие движения наблюдателей около трубок нарушают свободную конвекцию, что искажает результаты опытов.

1. Включить электронагреватели с помощью рубильника. Автотрансформатором установить первый тепловой режим.

2. С помощью переключателя подключить одну из термопар к потенциометру и начать измерение ЭДС этой термопары. Прекращение возрастания ЭДС свидетельствует о прогреве трубок и установлении стационарного теплового режима, когда температуры поверхности трубок не изменяются во времени.

3. После достижения стационарного режима выполнить измерения:

- а) ЭДС всех 6 термопар;
- б) температуры окружающего воздуха;
- в) напряжения на клеммах трансформатора;
- г) силы тока для двух труб и для одной из них. Сила тока в нагревателе второй трубы определяется как разность полученных измерений.

Значения величин внести в табл. 1.

Таблица 1

Наименование величин и размерность	1-й тепловой режим	2-й тепловой режим
1	2	3
Напряжение, В, U Сила тока в нагревателе, А, I: первой трубы второй трубы ЭДС термопара, мВ для : первой трубы E ₁ E ₂ E ₃ второй трубы E ₄ E ₅ E ₆ Температура поверхности, °С, для : первой трубы t _{c1} t _{c2} t _{c3}		

Окончание табл. 1

1	2	3
второй трубы t_{c4} t_{c5} t_{c6} Средняя температура поверхностей, °С: первой трубы $\bar{t}_c = \frac{t_{c1} + t_{c2} + t_{c3}}{3}$ второй трубы $\bar{t}_c = \frac{t_{c4} + t_{c5} + t_{c6}}{3}$ Температура воздуха $t_{ж}$, °С		

4. Установить второй тепловой режим и по достижении стационарного состояния произвести соответствующие измерения согласно пункту 3.

5. По опытным данным рассчитать критерии подобия $Nu_{ж,\alpha}$ и $Gr_{ж,\alpha}$. Физические параметры сухого воздуха ν и λ выбираются по табл. 2 при температуре воздуха $t_{ж}$. Для нахождения критерия $Nu_{ж,\alpha}$ необходимо рассчитать коэффициент теплоотдачи свободной конвекцией α_k , Вт/(м²·К), определяемый как разность:

$$\alpha_k = \alpha - \alpha_{л} . \quad (3)$$

Таблица 2

Физические параметры сухого воздуха

$t_{ж}$, °С	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(мК)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$t_{ж}$, °С	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(мК)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с
10	2,51	14,16	90	3,13	22,10
20	2,59	15,06	100	3,21	23,13
30	2,67	16,00	120	3,34	25,45
40	2,76	16,96	140	3,49	27,80
50	2,83	17,95	160	3,64	30,09
60	2,90	18,97	180	3,78	32,49
70	2,96	20,02	200	3,93	34,65
80	3,05	21,09			

Здесь суммарный коэффициент теплоотдачи α , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, находится по формуле

$$\alpha = \frac{Q}{F(\bar{t}_c - t_{ж})}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4)$$

а коэффициент теплоотдачи излучения, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, подсчитывается по уравнению

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\varepsilon \cdot c_0 \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ж}}{100} \right)^4 \right]}{\bar{t}_c - t_{ж}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (5)$$

где $Q=N=IU$ - тепло, выделяемое нагревателем трубки, Вт,

$F = \pi d l$ - боковая поверхность трубки, м^2 , l - длина трубки, м,

d - диаметр трубки, м;

ε - степень черноты поверхности трубки, равная 0,22 для латуни, 0,5 - для стали;

c_0 - коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$;

$T_c, T_{ж}$ - соответственно абсолютные температуры поверхности трубки и воздуха, $T_c = \bar{t}_c + 273, \text{ К}$.

Полученные расчетные данные внести в табл. 3.

Таблица 3

Наименование величин	1-й режим		2-й режим	
	1-я труба	2-я труба	1-я труба	2-я труба
1	2	3	4	5

<p>Суммарный коэффициент теплоотдачи α, Вт/(м²К)</p> <p>Коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{л}$, Вт/(м²К)</p> <p>Коэффициент теплоотдачи свободной конвекцией $\alpha_{к}$, Вт/(м²К)</p> <p>Коэффициент кинематической вязкости воздуха ν, м²/с</p>				
--	--	--	--	--

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
<p>Коэффициент теплопроводности воздуха λ, Вт/(мК)</p> <p>Коэффициент объемного расширения воздуха $\beta=1/T_{ж}$, 1/К</p> <p>Разность температур $\Delta t = \bar{t}_c - t_{ж}$, °С</p> <p>Критерий Грасгофа $Gr_{ж,\alpha} = \frac{9,8 \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot d^3}{\nu^2}$ $\lg Gr_{ж,\alpha}$</p> <p>Критерий Нуссельта $Nu_{ж,\alpha} = \frac{\alpha_k d}{\lambda} \frac{\alpha_k \cdot \alpha}{\lambda}$ $\lg Nu_{ж,\alpha}$</p>				

6. По уравнению (2) построить теоретическую прямую зависимости $\lg Nu_{ж,\alpha} = f(\lg Gr_{ж,\alpha})$ (рис.2), задаваясь двумя значениями критерия Грасгофа. Рекомендуется принять $Gr_{1ж,\alpha} = 100$ и $Gr_{2ж,\alpha} = 10^6$. На полученный график нанести опытные точки, взятые из табл. 3. Сравнить теоретические и экспериментальные данные.

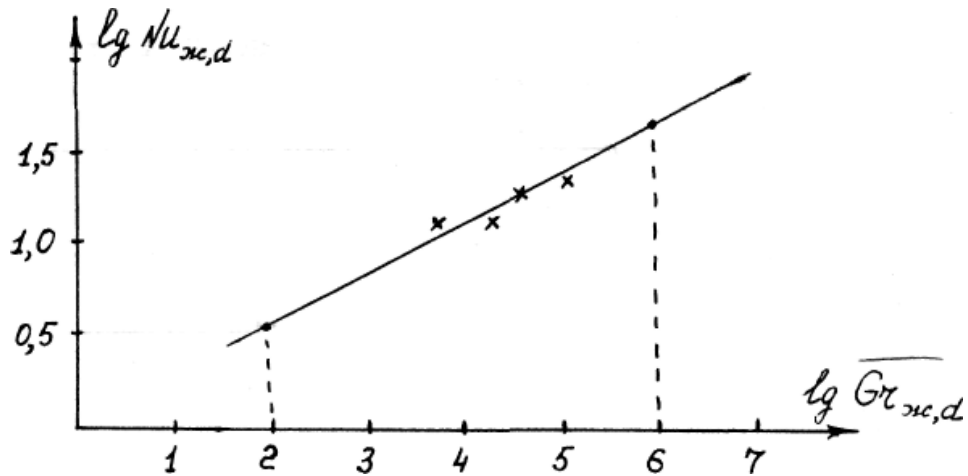


Рис. 2. Зависимость $\lg Nu_{ж,\alpha} = f(\lg Gr_{ж,\alpha})$

Контрольные вопросы

1. Что такое свободная конвекция?
2. От каких величин зависит интенсивность теплоотдачи свободной конвекцией?
3. По каким формулам находятся коэффициенты теплоотдачи: суммарный α и при свободной конвекции α_k в настоящей лабораторной работе?
4. Как рассчитать критерии подобия $Nu_{ж,\alpha}$ и $Gr_{ж,\alpha}$?
5. Каким образом можно рассчитать коэффициент теплоотдачи свободной конвекцией α_k , используя критериальное уравнение (2)?
6. Как изменяется интенсивность теплоотдачи с увеличением температуры поверхности?