

Лабораторная работа №10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ НА ОБОГРЕВАЕМОМ ЦИЛИНДРЕ

1. Цель работы

Определение коэффициента теплоотдачи трубы при свободной конвекции воздуха при различных температурах поверхности трубы. Используются два метода расчета коэффициента: прямой - по экспериментальным данным о тепловом потоке и температурном напоре, косвенный – основан на решении уравнения теплопроводности с помощью теории подобия.

2. Теоретические основы работы.

Причиной возникновения свободной конвекции является неустойчивое распределение плотностей жидкости (газа), обусловленное неравномерностью нагрева. При этом температурный напор определяет разность плотностей и величину подъемной силы, а площадь поверхности – зону распространения процесса.

Обобщение результатов различных экспериментов по теплообмену в свободном потоке тел различных форм и размеров, омываемых различными жидкостями или газами, позволило подобрать общую зависимость между критериями подобия. Эту зависимость для горизонтальных труб можно представить в форме:

$$10^4 < GrPr < 10^7: Nu = 0.5(GrPr)^{0.25}, \quad \text{где} \quad (1)$$

критерий Нуссельта: $Nu = \alpha d / \lambda$
критерий Грасгофа: $Gr = \beta g d^3 \Delta T / \nu^2$
критерий Прандтля: $Pr = \mu c / \lambda$,
в которых

α - коэффициент теплоотдачи (характеризует условия теплообмена между жидкостью и поверхностью твердого тела [Вт /м² К]);

λ - коэффициент теплопроводности [Вт /м·К];

d - характерный размер (диаметр трубы [м]);

β - коэффициент объемного расширения жидкости (газа) [м];

g – ускорение свободного падения [9.8 м/с²];

$\nu = \mu / \rho$ - кинематическая вязкость жидкости [м²/с];

μ - динамическая вязкость [Па·с];

ρ - плотность [кг/м³];

c – удельная массовая теплоемкость [Дж/кг·с].

Применяя эти уравнения для инженерных расчетов средних значений коэффициентов теплоотдачи α , нужно иметь ввиду следующее:

Число Pr , λ , ν в диапазоне температур от 20 до 1000 С изменяются существенно поэтому для точности расчета следует пользоваться написанными ниже эмпирическими соотношениями или таблицами физических свойств воздуха.

$$\begin{aligned} Pr &= -0.0002 t + 0.7068 \\ \lambda &= 8 t 10^{-5} + 0.0244 \text{ [Вт /м·К]} \\ \nu &= (0.1015 t + 12.94)10^{-6} \text{ [м}^2\text{/с]} \end{aligned}$$

Все физические константы, входящие в состав критериев, берутся при средней температуре жидкости (t – в градусах Цельсия).

В качестве определяющего размера в критериях для горизонтальных труб принимают их диаметр, а для вертикальных поверхностей (труб, пластин) – их высоту.

Итак, для трубы, находящейся в воздухе уравнение (1) имеет вид:

$$Nu = 0.5 (GrPr)^{0.25}, \quad Gr = (gd^3 \Delta T) / (\nu^2 T),$$

где ΔT - разница температур между окружающей средой и поверхностью трубы, T - средняя температура воздуха.

$$\alpha = Nu \lambda / d$$

С другой стороны, средний коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы можно рассчитать по закону Ньютона-Рихмана:

$$q = \alpha \Delta T \tag{2}$$

отсюда:

$$\alpha = q / \Delta T$$

где q - плотность теплового потока через наружную стенку трубы [Вт/м²].

Если считать, что теплоотдача осуществляется преимущественно путем конвекции (т.е. не учитывать излучение), то плотность теплового потока определяется по формуле:

$$q = Q/F = (U_n I_n) / (dl\pi),$$

где $I_n = U_0/R_0$,

R_0 – образцовое сопротивление [Ом];

U_0 - перепад напряжения на образцовом сопротивлении [В];

U_n - перепад напряжения на нагревателе [В];

Q – теплота выделяемая нагревателем (Вт);

F – площадь образующей цилиндрической поверхности трубы [м²];

Для расчета средней температуры поверхности трубы $t_{ст}$ используется формула:

$$t_{ст} = 1/5(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) \tag{4}$$

Схема экспериментальной установки и методика измерений.

Лабораторная установка (Рис.1 и Рис.2) состоит из отрезка медной тонкостенной трубы 1, внешний диаметр которой равен 28 мм. На поверхности трубы по её длине расположены 5 термопар $t_1 \dots t_5$ с интервалом 100 мм. Третья термопара t_3 находится

в центре трубы, термопары t_1 и t_5 находятся на расстоянии 10 мм от концов трубы. Указанные термопары монтируются изнутри трубы. Труба устанавливается так, что спаи термопар находятся в верхних точках цилиндрической поверхности трубы. Еще одна термопара t_6 находится снизу на середине трубы. На концах трубы находятся заглушки 2 из теплоизолирующего материала. Термопара t_0 измеряет температуру воздуха вблизи трубы.

В центре трубы находится электрический нагреватель 3, подключённый через образцовое сопротивление R_0 к источнику переменного напряжения 12 (ЛАТР). Напряжение на нагревателе U_H и падения напряжения на образцовом сопротивлении U_0 измеряется вольтметром 5. Нагреватель 3 размещается в медном цилиндрическом термостате 11.

На передней панели модуля расположены гнезда для подключения вольтметра, а также тумблер 6 для переключения вольтметра на измерение напряжения на нагревателе U_H и падения напряжения на образцовом сопротивлении U_0 . Все термопары подключены к измерителю 7 температуры 2ТРМ0, через переключатель 8. Включение установки производится тумблером 9, включение нагревателя – тумблером 10. Установка необходимого напряжения на нагревателе и его регулирование производится ручкой 4 ЛАТРа.

4. Порядок проведения эксперимента и расчеты

Внимание! Температура поверхности медного цилиндра не должна превышать 90С.

1.Подключить установку к сети 220в и включить тумблер 9.

2.Включить измеритель температуры 7 и мультиметр 5 (установить мультиметр на измерение переменного напряжения).

3.Включить ЛАТР тумблером 10 и установить ручкой 4 ЛАТРа напряжение на нагревателе примерно 60-80В (использовать мультиметр).

4.При достижении температуры поверхности цилиндра 55-65ОС уменьшить напряжение на нагревателе до 15-25В и выйти на стационарный режим, подождав некоторое время (показания температуры на термопаре 3 - середина трубы, верх – не должны изменяться значительно).

5.Провести измерения температур $t_1 \dots t_6$.

6.Измерить напряжение на образцовом сопротивлении, переключив тумблер 6 в соответствующее положение.

7.Повторить пункты 5-7, установив заданное преподавателем следующее значение напряжения на нагревателе. Полученные данные занести в таблицу результатов измерений.

5. Данные установки и таблица наблюдений.

Внешний диаметр трубы , мм	28
Длина трубы, мм	400
Величина образцового сопротивления, Ом	0,1

