

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Цель работы: определение теплоемкости воздуха при атмосферном давлении.

1. Основные понятия термодинамики, необходимые для проведения эксперимента.

Процесс преобразования теплоты в работу осуществляется в тепловых двигателях с помощью рабочего тела. Обычно в качестве рабочего тела используются газы и пары, т.к. они имеют больший коэффициент теплового расширения и при нагревании совершают большую работу, чем жидкости.

При различных термодинамических процессах изменение состояния газов зависит от их основных параметров P, V, T . Для каждого состояния газа характерна своя определенная величина внутренних энергий U . Т.е. внутренняя энергия является функцией параметров P, V, T . Разность внутренних энергий для двух состояний рабочего тела записывается

$$\Delta U = U_2 - U_1.$$

ΔU - изменение внутренней энергии, единица измерения которой, отнесенная к 1 кг газа – Дж/кг.

Согласно I-ому закону термодинамики, это означает, что если 1 кг газа сообщается с q единиц теплоты, а изменение внутренней энергии ΔU , что этот 1 кг газа совершает работу

$$A = q - \Delta U.$$

$$q = A + \Delta U$$

q – элементарное количество теплоты.

Количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг вещества для изменения температуры на 1^0K называется удельной теплоемкостью C $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}\right]$.

Если теплоемкость относят к 1 м^3 (при нормальных условиях, т.е. $T=273 \text{ K}$, $P=P_{\text{атм}}$), или к 1 молю газа, то ее называют объемной или молярной теплоемкостью C' и μc .

В технике важное значение имеют процессы, протекающие при $V=\text{const}$, тогда теплоемкость при изохорическом процессе называется C_v' – объемная изохорная теплоемкость.

Если процесс изобарный $P=\text{const}$, то C_p' – объемная изобарная теплоемкость.

Количественное соотношение между C_p' и C_v' устанавливается законом Майера:

$$C_p - C_v = R$$

$$R - \text{универсальная газовая постоянная} = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль}\cdot\text{K}}$$

2. Проведение эксперимента.

В данной работе необходимо опытным путем, используя метод прямоточного калориметра, определить теплоемкость воздуха при $P_{\text{атм}}$.

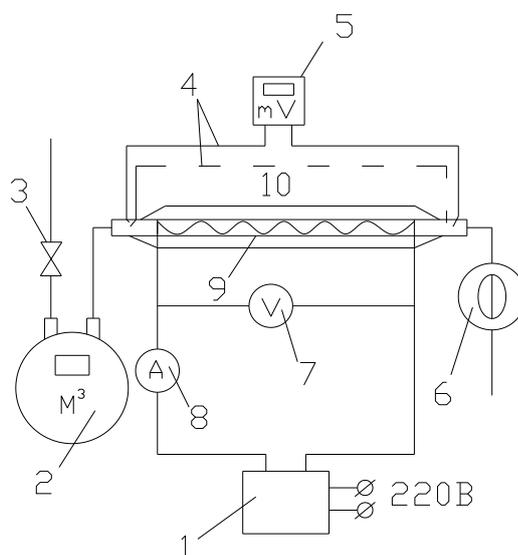


Рис. 1 Схема экспериментальной установки

Стеклянный прямоточный калориметр (9), через который проходит электрический нагреватель (10). Калориметр окружен стеклянной оболочкой для уменьшения потерь тепла в окружающую среду. Между калориметром и стеклянной воздухом находится в разряженном состоянии. Количество воздуха, поступающего в калориметр, определяется по показаниям газового счетчика (2), установленного на входе.

Разность температур воздуха на входе и выходе из калориметра дает установленная дифференциальная термопара (4), которая подключена к потенциометру (5).

Воздух из помещения поступает в систему с помощью компрессора (6). Вентиль (3) используется для регулировки расхода воздуха, проходящего через калориметр.

К потоку воздуха, протекающего через калориметр, подводится тепло от электронагревателя (10).

Автотрансформатором (1) регулируется величина электрического тока I (А). Амперметр (8) дает показание величины тока, вольтметр (7), включенный параллельно калориметру, показывает величину напряжения U (В).

Методика проведения эксперимента

Установка работает в стационарном режиме, т.е. расход воздуха постоянный, не зависит от времени.

$$\text{Удельную теплоемкость } C'_p = \frac{Q}{V_0 \cdot \Delta T},$$

где Q – количество теплоты, подводимое к калориметру, найдем по формуле:

$$Q = I_H \cdot U \cdot 10^{-3},$$

т.е. численно равно работе электрического тока $A=UIt$.

Электрический ток через нагреватель найдем (I_H) из условия равенства падения напряжения на нагревателе U_H и на вольтметре U_V (законы параллельного соединения проводников).

$$U_H = U_V = I_H \cdot R_H$$

С другой стороны: $U_H = U_V = I_A \cdot R_{\text{общее}}$

$$R_{\text{общее}} = \frac{R_V \cdot R_H}{R_H + R_V}$$

$$\text{Тогда } I_H \cdot R_H = I_A \cdot \frac{R_V \cdot R_H}{R_H + R_V} \rightarrow I_H = \frac{I_A \cdot R_V \cdot R_H}{(R_H + R_V) \cdot R_H}$$

$$\text{Т.е. } I_H = \frac{I_A \cdot R_V}{R_H + R_V} \text{ (} R_H \text{ и } R_V \text{ указаны на стенде)}$$

Объемный расход воздуха через калориметр, приведенный к нормальным условиям найдем:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T} \rightarrow V_0 = \frac{PVT_0}{TP_0}$$

P_0, V_0, T_0 – значения параметров воздуха при нормальных условиях, т.е. $P_0 = P_{\text{атм}}$ и $T_0 = 273^0\text{К}$.

P, V, T – значения параметров воздуха в лаборатории.

Используя формулу теплоемкости по ее определению, найдем среднюю объемную теплоемкость при $P = \text{const}$.

$$C'_p = \frac{Q}{V_0 \cdot \Delta T},$$

где $Q = I_H \cdot U \cdot 10^{-3}$

$$Q = \frac{I_H \cdot R_V \cdot U \cdot 10^{-3}}{(R_H + R_V)}$$

(10^{-3} – время, сек)

Подставим значение Q в выражение для удельной теплоемкости

$$C'_p = \frac{I_H \cdot R_V \cdot U \cdot 10^{-3}}{V_0 \cdot \Delta T \cdot (R_H + R_V)}$$

Величину средней массовой теплоемкости определим:

$$C_p = \frac{C'_p \cdot 22,4}{\mu}$$

Используя уравнение Майера, необходимо рассчитать среднюю изохорную теплоемкость воздуха:

$$C_p - C_v = R$$

Полученные величины изобарной и изохорной теплоемкости сравнить со справочными данными.

Величина расхождения определяется по формуле:

$$\delta_c = \frac{|C - C_{ТАБЛ}|}{C_{ТАБЛ}} \cdot 100\%$$

Лабораторная работа № 2

Определение коэффициента теплопроводности различных строительных материалов.

Цель работы: экспериментальное измерение коэффициента теплопроводности для двух материалов: гипса и песка.

теплопроводности для двух материалов: гипса и песка.

Теоретические основы

Теплопроводность цилиндрического слоя материала определяется по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{N \cdot \ln(R_2/R_1)}{2 \cdot \pi \cdot L(T_1 - T_2)}$$

где N – передаваемая слоем мощность;

R_1 – внутренний радиус цилиндрического слоя;

R_2 - внешний радиус цилиндрического слоя,

T_1 - температура внутренней поверхности слоя,

T_2 - температура внешней поверхности слоя,

L - длина слоя.

В стенде использованы нагреватель диаметром 13,6 мм и внешняя оболочка из стальной трубы с внутренним диаметром 40 мм. Поскольку теплопроводность стали существенно выше, чем песка и гипса в лабораторной работе принимается, что средняя температура внешней поверхности слоя из изучаемого материала равна средней температуре по показаниям датчиком ДТ2, ДТ3 и ДТ4:

$$T_2 = (T_{ДТ2} + T_{ДТ3} + T_{ДТ4})/3$$

Эффективная длина слоя L равна 350 мм.

В стационарном режиме, когда распределение температур становится постоянным, передаваемая тепловая мощность равна подводимой электрической мощности.

, Последовательность выполнения работы

1. Вертикально установить на панель образец с гипсом. Подключить

разъемы к соответствующим гнездам.

2. Включить питание системы управления стенда.

3. Для быстрого прогрева образца задать мощность нагрева равно 150- 170 Вт путем поворота ручки автотрансформатора.

4. Дождаться пока температура нагревателя составит 90-95°C, после чего снизить мощность нагрева до 15-20 Вт.

5. Дождаться установившегося температурного режима в образце: показания датчиков ДТ1-ДТ6 не должны меняться больше чем на 0,3°C в минуту.

6. Записать в таблицу показания датчиков ДТ1-ДТ4, мощность нагрева N .

7. Уменьшить до нуля мощность нагрева.

8. Дождаться, пока образец остынет до 70°C.

9. Выключить питание системы управления.

10. Отключить образец, снять его, уложить в ящик.

11. Повторить действия по пунктам 1-10 для образца с песком.

Мощность нагрева следует снижать до величины 25-30 Вт.

12. Рассчитать средние температуры T_2 для обоих случаев, вычислить значения теплопроводностей двух материалов. Сделать выводы.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ ОБТЕКАНИИ ВОЗДУХОМ ПЛАСТИНЫ

Задачи исследования

1. Определить локальные значения коэффициентов теплоотдачи по длине пластины при различных скоростях потока воздуха. Построить зависимости $\alpha_i=f(x)$ и $\delta_T=f(x)$.
2. Составить по экспериментальным данным обобщающую критериальную зависимость вида $Nu=c \cdot Re^n$. Определить значения постоянных n и c .

Описание опытной установки

Схема опытной установки для исследования процесса теплоотдачи при обтекании воздухом пластины изображена на рис. 1.

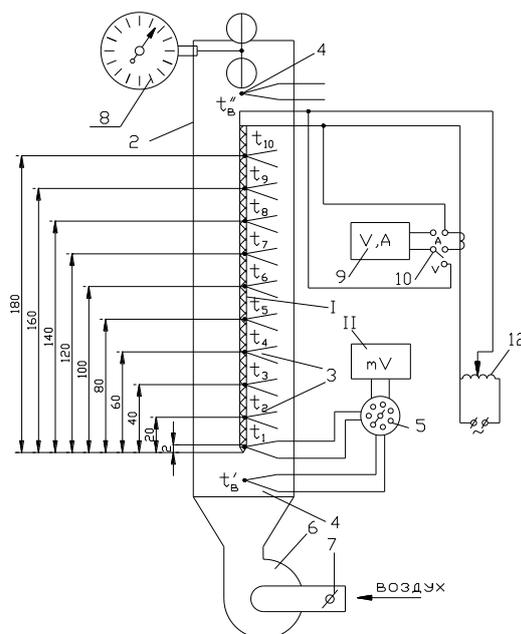


Рис. 1. Схема опытной установки.

Металлическая пластина, обогреваемая путем непосредственного пропускания по ней электрического тока, установлена в канале прямоугольного сечения 2.

Воздух подается в канал центробежным вентилятором 6, омывает пластину и отводится наружу. Расход воздуха регулируется поворотной заслонкой 7.

Измерение температуры пластины осуществляется 10-ю термопарами 3, установленными с внутренней поверхности пластины, согласно рис. 2.

Температура воздуха на входе $t'_в$ и выходе $t''_в$ из канала измеряется термопарами 4, установленными непосредственно в потоке.

Термо-э.д.с. термопар измеряется поочередно цифровым электронным милливольтметром 11, путем поворота переключателя 5.

Скорость движения потока воздуха измеряется чашечным анемометром 8.

Электрическая энергия, затрачиваемая на обогрев пластины и передаваемая в виде теплоты воздушному потоку за 1 секунду, определяется по величине произведения падения напряжения U на силу тока I , или $Q = \frac{U^2}{R_{эл}}$, где $R_{эл}$ – электрическое сопротивление пластины.

Падение напряжения U измеряется комбинированным электроизмерительным прибором 9.

Мощность электронагрева пластины изменяется автотрансформатором 12.

I. Расчет локальных значений α_i и δ_i по длине пластины

1. Плотность теплового потока с поверхности пластины к воздуху:

$$q = \frac{U^2}{R_s \cdot F}, \text{ Вт/м}^2$$

U – напряжение на клеммах пластины, В;

R_3 – электрическое сопротивление пластины (0,0117 Ом);

F – площадь поверхности пластины (0,032 м²).

2. Скорость потока воздуха, обтекающего пластину $w = f\left(\frac{N}{\tau}\right)$ – по тарировочному графику анемометра. $\frac{N}{\tau}$ – число делений за 1 сек.

3. Значения коэффициентов теплоотдачи вдоль обогреваемой пластины

$$\alpha_i = \frac{q}{t_i - t_g}$$

\bar{t}_g – средняя температура воздуха, обтекающего пластину

$$\bar{t}_g = \frac{t_g' + t_g''}{2}.$$

4. Подсчитать локальные значения числа Рейнольдса:

$$Re_i = \frac{w \cdot x}{\nu}.$$

5. Толщина теплового пограничного слоя на начальном ламинарном участке пластины $Re < 5 \cdot 10^5$ $\delta_T = \frac{\lambda}{\alpha_i}$.

6. Построить графики зависимостей $\alpha_i = f(x)$ и $\delta_T = f(x)$.

Объяснить полученные результаты.

II. Составление обобщающих зависимостей для расчета локальных и средних значений коэффициентов теплоотдачи

1. Подсчитать локальные значения числа Нуссельта:

$$Nu_i = \frac{\alpha_i \cdot x}{\lambda},$$

где λ – теплопроводность воздуха, взятая при средней его температуре (определ. температура \bar{t}_g);

x – расстояние от передней кромки пластины до места измерения соответствующей локальной температуры поверхности пластины, м.

2. Построить в логарифмических координатах зависимость $Nu_i = c \cdot Re_i^n$

$$Nu_i = f(Re_i), \text{ т. е. } \ln Nu_i = n \cdot \ln Re_i + \ln c.$$

3. По графику (по двум любым точкам) определить показатель n и коэффициент c :

$$n = \frac{\ln Nu_2 - \ln Nu_1}{\ln Re_2 - \ln Re_1}, \quad c = \frac{Nu_1}{Re_1^n}.$$

4. Полученная расчетная критериальная зависимость позволяет рассчитывать локальные значения коэффициентов теплоотдачи конвекцией α_i при продольном обтекании пластины.

5. Определить среднюю температуру поверхности пластины:

$$\bar{t}_c = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_{10}}{10}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6. Средний коэффициент теплоотдачи по поверхности пластины

$$\bar{\alpha} = \frac{q}{t_c - t_g}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

7. Число Рейнольдса

$$\overline{Re}_c = \frac{w \cdot l}{\nu},$$

где l – длина пластины, принять $l=0,2$ м.

8. Среднее значение числа Нуссельта:

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{\alpha} \cdot l}{\nu}.$$

9. Построить график критериальной зависимости $\overline{Nu} = c_1 \cdot \overline{Re}_c^{n_1}$ в логарифмических координатах, т. е. $\ln \overline{Nu} = n_1 \cdot \ln \overline{Re}_c + \ln c_1$. Значения \overline{Nu} и \overline{Re}_c подсчитать при различных скоростях потока воздуха и мощности обогрева пластины.

10. По графику (по двум любым точкам) определить показатель n_1 и коэффициент c_1 :

$$n_1 = \frac{\ln \overline{Nu}_2 - \ln \overline{Nu}_1}{\ln \overline{Re}_2 - \ln \overline{Re}_1}, \quad c_1 = \frac{\overline{Nu}_1}{\overline{Re}_1^{n_1}}.$$

11. Полученная расчетная критериальная зависимость позволяет в общем случае рассчитывать средние по длине пластины значения коэффициентов теплоотдачи конвекцией.