

Отчет о выполнении работы №2.1.1.

Воейко Андрей Александрович, Б01-109

Долгопрудный, 2022

1 Аннотация

В работе измеряется повышение температуры воздуха в зависимости от мощности подводимого тепла и расхода при стационарном течении через трубу. После исключения тепловых потерь по результатам измерений определяется теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

2 Теоретические сведения

Уравнение теплоемкости тела для какого-то процесса имеет вид:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}, \quad (1)$$

где C — теплоемкость тела, δQ — количество теплоты, полученное телом, dT — изменение температуры тела. В нашем же случае в качестве тела выступает воздух, а нагрев недостаточен для того, чтобы привести к значительному увеличению давления. Следовательно, в опыте измеряется теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

Удельная же теплоемкость определяется по следующей формуле:

$$c_p = \frac{N - N_{\text{пот}}}{q\Delta T}, \quad (2)$$

где c_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, N и $N_{\text{пот}}$ — мощности нагрева и потерь соответственно, q — массовый расход воздуха, а ΔT — изменение температуры воздуха до и после нагрева.

Изменение температуры найдем по формуле:

$$\varepsilon = \beta \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{\varepsilon}{\beta}, \quad (3)$$

где ε — Э. Д. С., образовавшаяся на концах термопары, а $\beta = 40,7 \frac{\text{мкВ}}{^\circ\text{C}}$ — чувствительность термопары при рабочем диапазоне температур (20 — 30 $^\circ\text{C}$).

Расход воздуха найдем по формуле:

$$q = \rho \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (4)$$

где Δt — время, за которое некоторый объем ΔV прошел через нагреватель, а ρ — плотность воздуха, которую можно получить путем сложения плотности сухого воздуха $\rho_0 = \frac{\mu P}{RT}$, где P — атмосферное давление, T — температура воздуха, $\mu = 29,0 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ — средняя молярная масса сухого воздуха; и абсолютной влажности воды $\rho_v = \phi \rho_{\text{max}}$, где ϕ — относительная влажность, ρ_{max} — максимальная влажность воздуха при данной температуре воздуха: $\rho = \rho_0 + \rho_v$.

Предполагая, что в условиях, когда $\Delta T \ll T$, зависимость мощности

потерь $N_{\text{пот}}$ от изменения температуры ΔT можно считать линейной, получаем:

$$N_{\text{пот}} = \alpha \Delta T, \quad (5)$$

где α — некоторая константа.

Поскольку вся электрическая мощность нагревателя расходуется на нагрев проходящего воздуха и на потери, справедливо следующее уравнение:

$$N = c_p q \Delta T + N_{\text{пот}} = (c_p q + \alpha) \Delta T \quad (6)$$

Отсюда можно получить c_p :

$$c_p = \frac{N/\Delta T - \alpha}{q} \quad (7)$$

3 Оборудование и экспериментальные погрешности

В работе используются: теплоизолированная стеклянная трубка; электронагреватель; источник питания постоянного тока; амперметр; вольтметр; термopapa, подключенная к микровольтметру; компрессор; газовый счётчик; секундомер.

Амперметр $\Delta_A =$

Вольтметр $\Delta_U =$

Микровольтметр $\Delta_M =$

Газовый счётчик $\Delta_V =$

Термометр $\Delta_T = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C} = 0,2 \text{ K}$

4 Результаты измерений и обработка данных

4.1 Измерение температуры, давления и влажности

Измерим температуру воздуха и его влажность, используя термометры психрометра.

$$T = 24,2 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C} = 297,2 \text{ K} \pm 0,2 \text{ K}$$

$$\phi = 48\% \pm 2\%$$

Измерим давление при помощи цифрового барометра.

$$P_a = 734,6 \text{ мм рт. ст.} \pm 0,1 \text{ мм рт. ст.} = 9,77 \cdot 10^4 \text{ Па} \pm 0,01 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

Найдем плотность воздуха в комнате.

$$\rho_0 = \frac{\mu P_a}{RT} = \frac{29 \cdot 9,77 \cdot 10^4}{8,31 \cdot 297,2} = 1,15 \cdot 10^3 \frac{\text{г}}{\text{м}^3} = 1,15 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_0 = \frac{\mu}{R} \cdot \frac{P_a \Delta T + T \Delta P_a}{T^2} = \frac{29}{8,31} \cdot \frac{9,77 \cdot 10^4 \cdot 0,2 + 297,2 \cdot 0,01 \cdot 10^4}{297,2^2} = 2 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{в}} = \phi \rho_{\text{max}} = 0,48 \cdot 20,57 = 9,87 \frac{\text{г}}{\text{м}^3} = 0,01 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho_{\text{в}} = \rho_{\text{max}} \Delta \phi = 0,02 \cdot 20,57 = 0,4 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

$$\rho = \rho_0 + \rho_{\text{в}} = 1,15 + 0,01 = 1,16 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta \rho = \Delta \rho_0 + \Delta \rho_{\text{в}} = 2,4 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$

Погрешность вычисления плотности воздуха оказалась незначительной по сравнению с интересующим нас порядком величины, поэтому в дальнейших расчетах учитываться не будет.

4.2 Первая серия измерений, с максимальным расходом воздуха

4.2.1 Измерение расхода воздуха

Измерения расхода произведем путем измерения времени, за которое через счетчик пройдет 5 л воздуха.

За погрешность измерения времени будем считать среднюю скорость реакции человека — 0,3 с.

Погрешностью измерения объема будем считать 0,1 л — цену деления счетчика.

Результаты занесем в таблицу 1.1.

В нее же занесем расход воздуха, вычисленный по формуле (1), и с погрешностью, вычисленной по следующей формуле: $\Delta q = \rho \frac{V \Delta t + t \Delta V}{t^2}$.

№	Время, с	Расход, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$
1	$24,7 \pm 0,3$	
2	$25,3 \pm 0,3$	
3	$25,1 \pm 0,3$	
4	$25,1 \pm 0,3$	
5	$25,1 \pm 0,3$	