

Отчет о выполненной лабораторной работе 2.1.1

Антон Хмельницкий, Б01-306

2024/02/20

Измерение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении

1 Аннотация

Цель работы: измерить повышение температуры воздуха в зависимости от мощности подводимого тепла и расхода при стационарном течении через трубу; исключив тепловые потери, по результатам измерений определить теплоёмкость воздуха при постоянном давлении.

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

2 Теоретические сведения

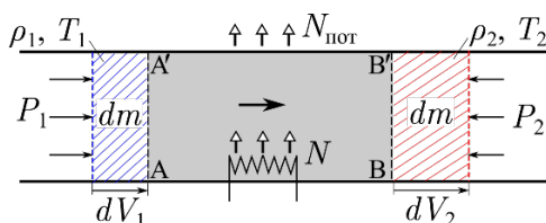


Рисунок 1

Теплоемкость тела:

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

Удельная теплоемкость при постоянном давлении:

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

*Не зависит от перепада давлений. Главное условие - идеальность газа

Мощность нагрева:

$$N = UI \quad (3)$$

Для медно-константановой термопары ЭДС:

$$\varepsilon = \beta \Delta T \quad (4)$$

$$, \beta = 40,7 \frac{\text{мКВ}}{^{\circ}\text{C}}$$

Массовый расход:

$$q = \rho_0 \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (5)$$

, где ρ_0 — плотность воздуха при комнатной температуре, которая в свою очередь может быть получена из уравнения Менделеева–Клапейрона: $\rho_0 = \frac{\mu P_0}{RT_0}$, где P_0 — атмосферное давление, T_0 — комнатная температура (в Кельвинах), $\mu = 29,0$ г/моль — средняя молярная масса (сухого) воздуха.

Мощность потерь тепла:

$$N_{\text{пот}} = \alpha \Delta T \quad (6)$$

Итоговая зависимость:

$$N = (c_p q + \alpha) \Delta T \quad (7)$$

Следовательно, при фиксированном расходе воздуха ($q = \text{const}$) подводимая мощность и разность температур связаны прямой пропорциональностью ($\Delta T(N)$ — линейная функция).

3 Экспериментальная установка

В настоящем эксперименте предлагается провести измерение зависимости $\Delta T(N)$ разности температур ΔT концов термопары от мощности нагрева $N = UI$ при нескольких фиксированных значениях расхода q воздуха. По результатам измерений проверить справедливость зависимости и определить удельную теплоёмкость воздуха при постоянном давлении c_p а также оценить величину тепловых потерь.

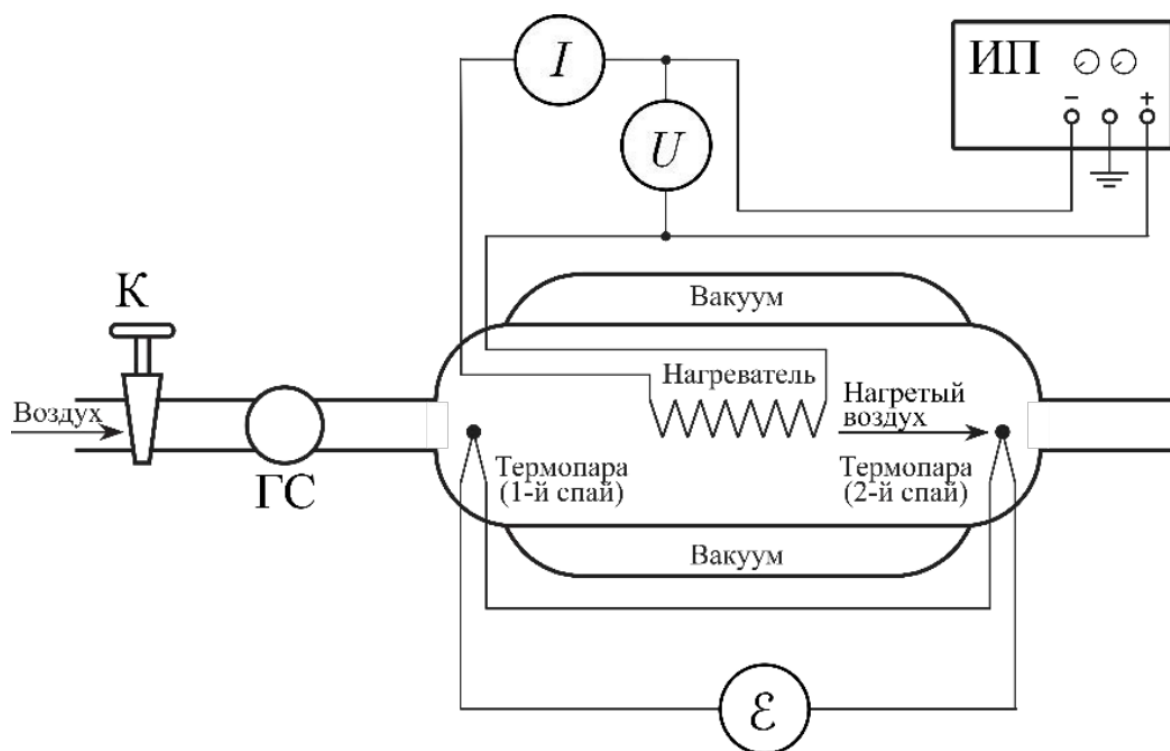


Рисунок 2: Схема экспериментальной установки

4 Результаты эксперимента

$$c_p = 1006 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) \quad (8)$$

$$q_1 = \frac{5}{36} \approx 0,14 \text{ л/с} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с} \quad (9)$$

$$q_2 = \frac{5}{72} \approx 0,07 \text{ л/с} = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с} \quad (10)$$

$$R = 29 \text{ Ом} \quad (11)$$

$$N_{\min} = 0,14 \text{ Вт} \quad (12)$$

$$I_{\min} = 0,07 \text{ А} \quad (13)$$

$$U_{\min} = 2,03 \text{ В} \quad (14)$$

$$(15)$$

На 1 градус		На 2 градуса		На 4 градуса		На 6 градуса		На 8 градуса	
N	0,139722	N	0,279444	N	0,558889	N	0,838333	N	1,117778
U	2,012944	U	2,846733	U	4,025888	U	4,930686	U	5,693466
I	0,069412	I	0,098163	I	0,138824	I	0,170024	I	0,196326
Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец
10	40	40	71	71	116	70	169	169	220

Таблица 1: Данные полученные для расхода q_1

На 1 градус		На 2 градуса		На 4 градуса		На 6 градуса		На 8 градуса	
N	0,069861	N	0,139722	N	0,279444	N	0,419167	N	0,558889
U	1,423367	U	2,012944	U	2,846733	U	3,486522	U	4,025888
I	0,049082	I	0,069412	I	0,098163	I	0,120225	I	0,138824
Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец
10	28	28	51	51	91	91	140	140	179

Таблица 2: Данные полученные для расхода q_2

5 Обработка результатов

$$\varepsilon = \beta \Delta T \quad (16)$$

, $\beta = 40,7 \frac{\text{мКВ}}{^\circ\text{C}}$

Расчет погрешность при аппроксимации по МНК:

$$k = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}$$

$$b = \langle y \rangle - k \langle x \rangle$$

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - k^2}$$

$$\sigma_b = \sigma_k \sqrt{\langle x^2 \rangle}$$

Получаем:

Для q_1 :

$$k = 4.465$$

$$\sigma_k = 0.064(\varepsilon = 1, 43\%)$$

$$b = 0.407$$

$$\sigma_b = 0.044$$

Для q_2 :

$$k = 7.636$$

$$\sigma_k = 0.118(\varepsilon = 1, 5\%)$$

$$b = 0.162$$

$$\sigma_b = 0.041$$

Найдем α и c_P , решив систему уравнений:

$$\begin{cases} c_P q_1 + \alpha = \frac{1}{k_1} \\ c_P q_2 + \alpha = \frac{1}{k_2} \end{cases}$$

Путем математических преобразований получаем:

$$c_P = \frac{k_2 - k_1}{(q_1 - q_2) k_1 k_2}; \quad \alpha = \frac{k_2 - k_1 - c_P(q_1 + q_2)}{2 k_1 k_2}.$$

$$c_P = 1162 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}; \quad \alpha = 0.045 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$N_{\text{пот}} = \alpha \Delta T N = (c_P q + \alpha) \Delta T \quad (17)$$

$$\frac{N_{\text{пот}}}{N} = \frac{\alpha}{c_P q + \alpha} = 0, 1 = 10\%$$

Оценим погрешности:

$$\sigma_{c_P} \approx c_P \sqrt{(\varepsilon_{k_1})^2 + (\varepsilon_{k_2})^2} = 24 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$$

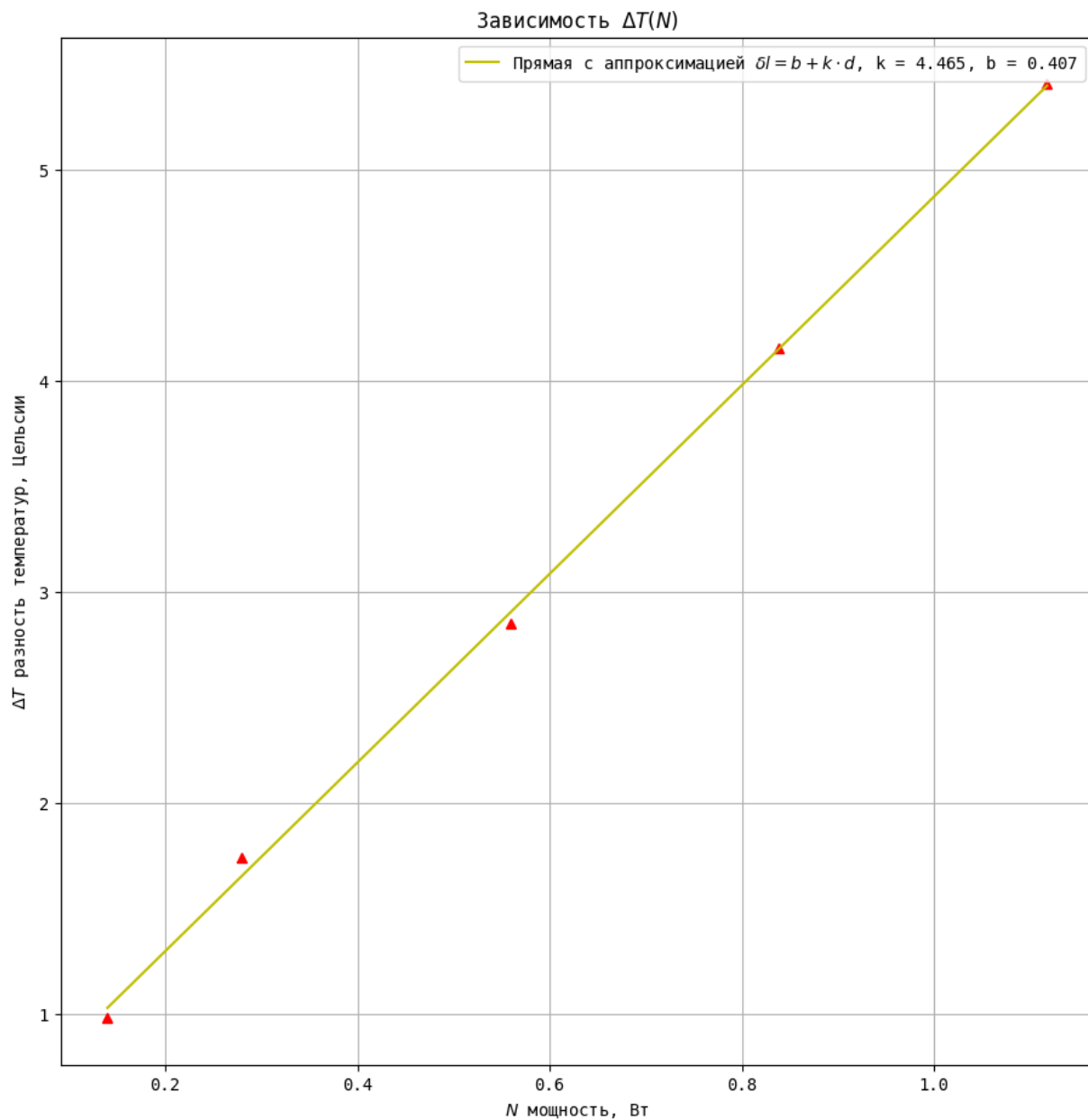
$$c_P = 1162 \pm 24 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$$

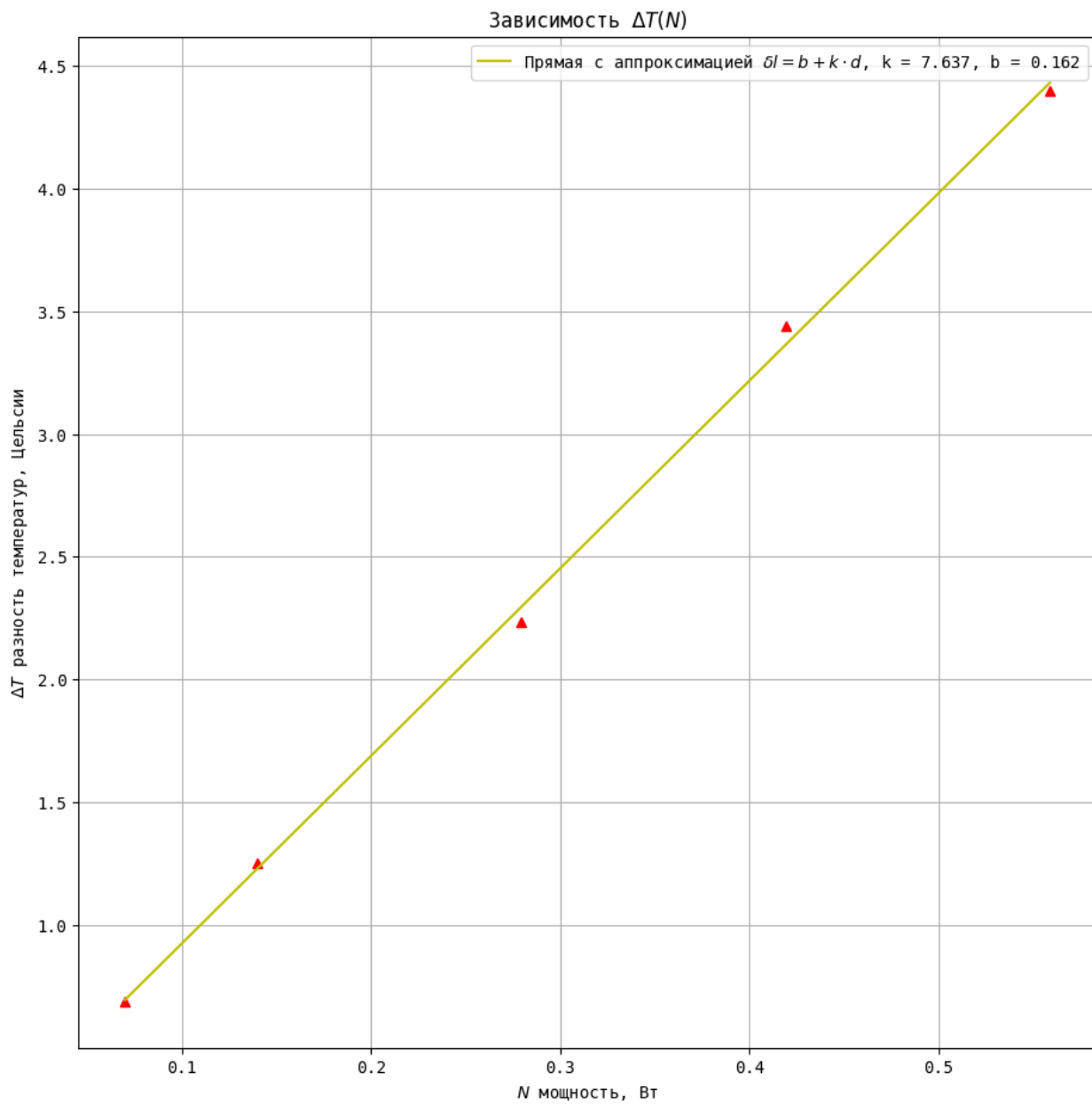
$$\alpha = 0.045 \pm 0.001 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\frac{N_{\text{пот}}}{N} = 10\%$$

6 Вывод

В данной работе был исследован газ и его теплоемкость при постоянном давлении. В процессе была экспериментально найдена теплоемкость воздуха $c_p = 1162 \pm 24$, что с точностью в 14%.

Рисунок 3: Зависимость изменения температуры от мощности для q_1

Рисунок 4: Зависимость изменения температуры от мощности для q_2