

# МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №2.1.1

---

## Измерение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении

---

*Автор:* Алексей Домрачев 615 группа

*Преподаватель:* Александр Дмитриевич Калашников



20 марта 2017 г.

**Цель работы:** измерение повышения температуры воздуха в результате подвода тепла при стационарном течении через трубу и вычисление по результатам измерений теплоёмкости  $C_P$  воздуха при постоянном давлении.

## 1. Постановка эксперимента

Данная лабораторная работа предусматривает следующую методику измерений: воздух продувается через калориметр, внутри которого установлен нагревательный элемент; проводятся измерения мощности нагревателя  $W = IU$ , объёмного расхода  $Q$  и изменения температуры  $\Delta T$  потока воздуха.

### Обозначения:

$K$  — кран регулировки расхода;

ГС — газовый счётчик.

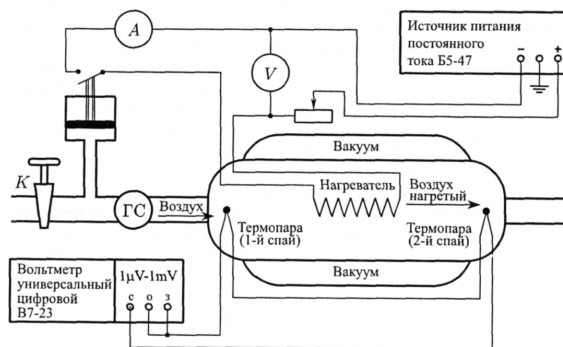


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Нетрудно показать, что в ходе эксперимента *вследствие стационарности процесса* измеряется именно  $C_P$ , причём

$$C_P = \frac{\mu}{\rho} \frac{W - W'}{Q \Delta T}, \quad \text{где } \rho \simeq \frac{\mu P}{RT}, \quad (1)$$

$W'$  — мощность тепловых потерь. Логично предположить, что  $W' \simeq \beta \Delta T$ , тогда

$$\frac{W}{\Delta T} = \frac{\rho}{\mu} C_P \cdot Q + \beta. \quad (2)$$

Из уравнения (2) видно, что построение зависимости  $\frac{W}{\Delta T}(Q)$  позволяет найти  $C_P$  и оценить долю тепловых потерь

$$\eta \equiv \frac{\mu \beta}{\rho C_P Q}. \quad (3)$$

## 2. Проведение измерений

**Начальные условия.** До начала и по окончании работы были записаны значения температуры и давления в лаборатории, а также определена относительная влажность воздуха:

Время	$t_0, ^\circ\text{C}$	$P, \text{гПа}$	$\chi, \%$
14:00	22.6	987.7	70
16:50	22.2	989.5	73
	22.4	988,6	

По этим данным можно рассчитать плотность воздуха, которая в дальнейшем будет полагаться постоянной:

$$\rho = \frac{\mu P}{RT} = 1,17 \text{ кг/м}^3. \quad (4)$$

**Прикидка.** При заданном расходе  $Q$  и известном сопротивлении нагревательного элемента  $r = 35 \text{ Ом}$  оценим силу тока  $I_0$ , при протекании которого температура потока увеличивается на  $\Delta T_0 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\frac{7}{2}R \approx \frac{\mu \cdot I_0^2 r}{\rho Q \Delta T_0} \implies I_0 = \sqrt{\frac{7R\rho\Delta T_0 \cdot Q}{2\mu r}} \simeq 183 \text{ мА} \cdot \sqrt{Q \text{ [л/с]}}. \quad (5)$$

Величина сопротивления, измеренная непосредственно, составила

$$r_e = \frac{5.275 \text{ В}}{151.68 \text{ мА}} = 34.8 \text{ Ом}. \quad (6)$$

Следует отметить, что постоянная термопары  $\Xi = 42.3 \text{ мкВ/}^\circ\text{C}$ , а значит, для покрытия диапазона в  $9 \text{ }^\circ\text{C}$  необходимо достигать значений термоЭДС  $\mathcal{E}_b \sim 380 \text{ мкВ}$ .

При этом одному обороту стрелки газового счётчика соответствует объём прокачки  $5 \text{ л}$ .

**Основные измерения.** Данные измерений при различных значениях  $Q_i$  приведены в таблице 2, сведения о самих величинах  $Q_i$  сведены в таблицу 1.

$N, \text{ об.}$	$\tau, \text{ с}$	$Q_i, \text{ л/с}$
3	165	0.090909
1	130	0.038462

Таблица 1: Объёмный расход воздуха

$i$	$I$ , мА	$U$ , В	$\mathcal{E}$ , мкВ	$W$ , мВт	$\Delta T$ , °C	$Q_i$ , л/с	$\frac{W}{\Delta T}$ , мВт/°C
1	77.17	2.682	72	206.96994	1.702128	0.090909	121.594840
1	99.83	3.470	103	346.41010	2.434988	0.090909	142.263565
1	123.14	4.282	149	527.28548	3.522459	0.090909	149.692455
1	141.25	4.914	200	694.10250	4.728132	0.090909	146.802679
1	160.09	5.571	263	891.86139	6.217494	0.090909	143.443866
1	177.02	6.163	322	1090.97426	7.612293	0.090909	143.317426
1	183.83	6.401	354	1176.69583	8.368794	0.090909	140.605180
2	49.23	1.714	52	84.38022	1.229314	0.038462	68.640064
2	80.01	2.788	126	223.06788	2.978723	0.038462	74.887074
2	99.19	3.457	192	342.89983	4.539007	0.038462	75.545119
2	112.75	3.931	253	443.22025	5.981087	0.038462	74.103623
2	124.49	4.342	322	540.53558	7.612293	0.038462	71.008245
2	131.72	4.594	364	605.12168	8.605201	0.038462	70.320459
2	138.06	4.817	412	665.03502	9.739953	0.038462	68.279081

Таблица 2: Основные данные измерений и расчёты

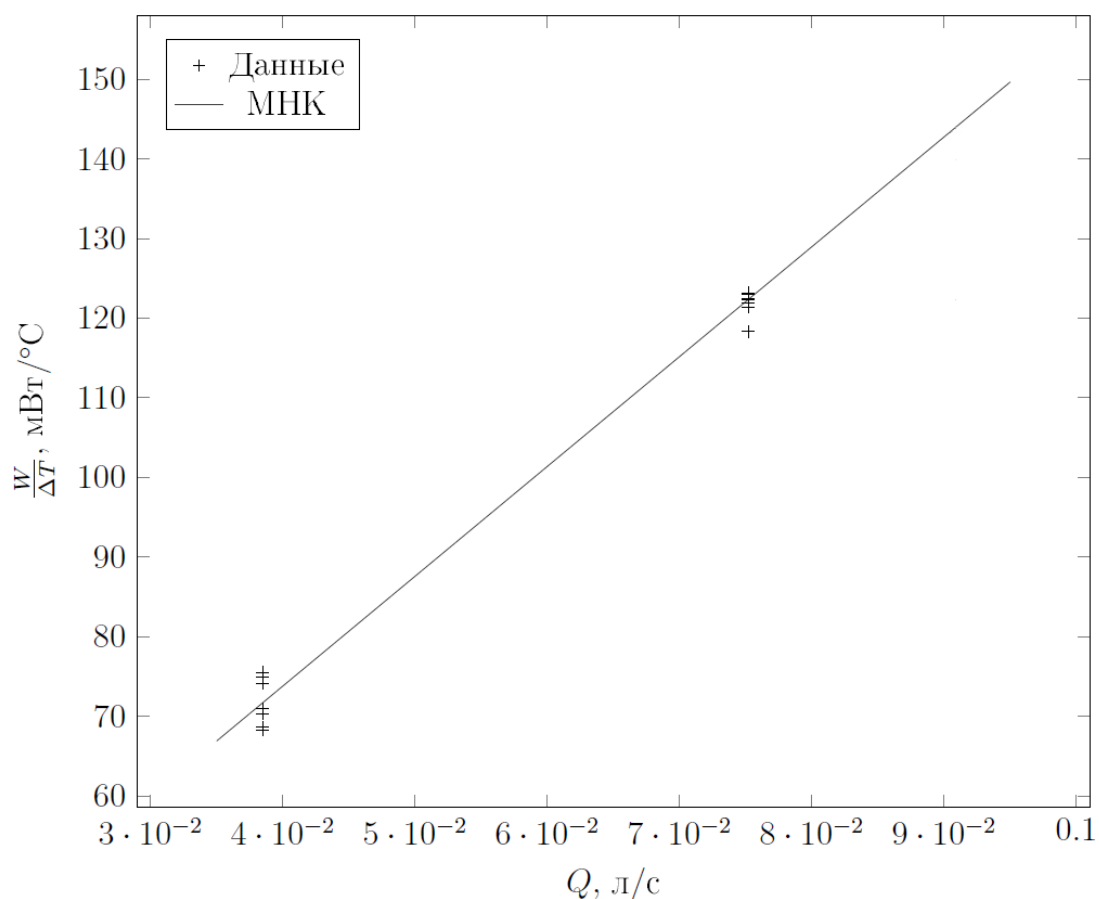


Рис. 2: График зависимости  $\frac{W}{\Delta T}$  от  $Q$

### 3. Итоги

Обработывая точки исследуемой зависимости по МНК, получаем значения коэффициентов зависимости (2):

$$\frac{\rho}{\mu} C_P = (1.38 \pm 0.03) \text{ кДж}/(\text{К} \cdot \text{м}^3) \implies \quad (7)$$

$$C_P = (33.6 \pm 0.6) \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) = \boxed{(4.0 \pm 0.1)R}; \quad (8)$$

$$\beta \approx 20 \text{ мВт}/\text{К} \implies \eta \sim (15 \div 40) \%. \quad (9)$$

**Комментарий.** Полученная в результате выполнения настоящей лабораторной работы зависимость имеет «хороший», линейный вид ( $\mathfrak{R} = 0.9965$ ), однако итоговое значение  $C_P$  завышено на 15 % по сравнению с теоретическим, что на порядок превышает оценку погрешности косвенного измерения.