

Задача 2.1.1.

Измерение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении

Лось Денис (группа 611)

15 мая 2017

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

В работе используются: теплоизолированная трубка, электронагреватель, источник питания постоянного тока Б5-70, термopара, амперметр, вольтметр, универсальный цифровой вольтметр В7-23, газовый счётчик, секундомер.

Теоритическая часть

Определение теплоёмкости тел обычно производится в калориметрах, т.е в сосудах, обеспечивающих теплоизоляцию исследуемого тела от внешней среды. При этом регистрируется количество тепла Q , полученное телом, и изменение температуры этого тела ΔT . Теплоёмкость определяется как

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Надёжность измерения определяется в основном качеством калориметра. Необходимо, чтобы количество тепла, затрачиваемое на нагревание исследуемого тела, было существенно больше тепла, расходуемого на нагревание калориметра, и на потери, связанные с утечкой тепла из установки. При измерении теплоёмкости воздуха эти требования выполнить очень трудно, так как масса воздуха, заключённого в калориметре, и, следовательно, количество тепла, идущее на его нагревание, очень малы. Чтобы увеличить количество воздуха при неизменных размерах установки, в нашей работе воздух продувается сквозь калориметр, внутри которого установлен нагреватель. Измеряется количество тепла, отдаваемое нагревателем, масса протекающего воздуха и изменение его температуры.

Экспериментальная установка

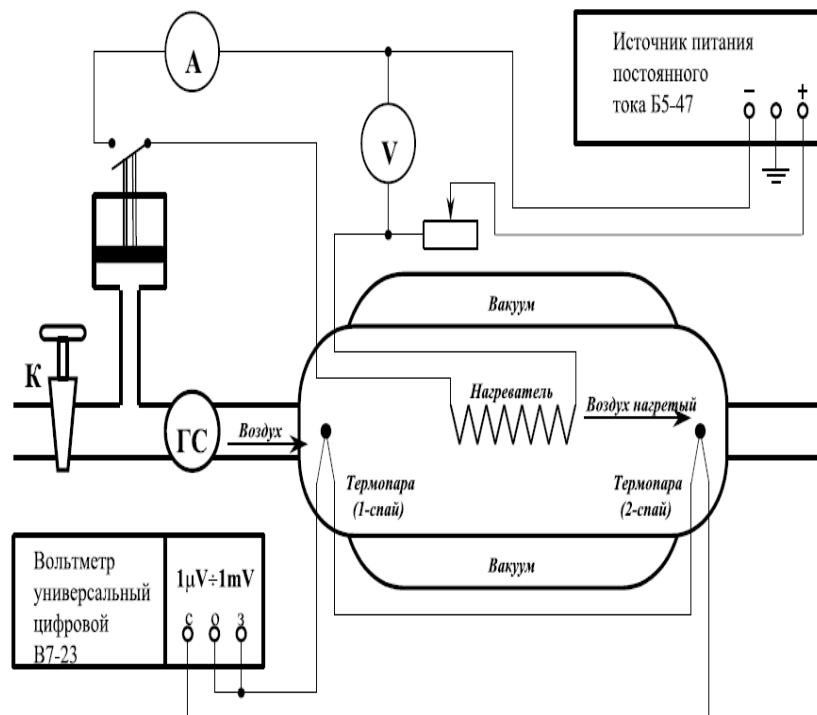


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Калориметр представляет собой стеклянную цилиндрическую трубку с двойными стенками, запаянными с торцов. На внутреннюю поверхность стенок трубки нанесено серебряное покрытие для минимизации потерь тепла за счёт излучения. Воздух из пространства между стенками калориметра откачан до высокого вакуума для минимизации потерь тепла, обусловленных теплопроводностью воздуха.

Для измерения разности температур служит медно-константовая термопара, один спай термопары расположен в струе воздуха, входящего в калориметр, и находится при комнатной температуре, а второй в струе выходящего нагретого воздуха. Чувствительно термопары определяется следующим соотношением: при разности температур спаев в 10 градусов ЭДС термопары составляет 423 мкВ.

Объём воздуха V , прошедшего через калориметр, измеряется газовым счётчиком. Полный оборот счётчика соответствует 5 литрам прокачанного воздуха. Время прохождения фиксированного объёма воздуха измеряется секундомером.

Воздух считается идеальным газом. Масса m воздуха, протекающего через калориметр в единицу времени определяется соотношением:

$$m = \frac{\mu \cdot P_{\text{атм}} \cdot Q}{R \cdot T}$$

Учитывая особенности устройства калориметра, следует ожидать, что мощность нагревателя расходуется не только на нагрев массы прокачиваемого воздуха, но и частично теряется за счёт нагрева внутренних стенок термостата и рассеяния тепла через торцы термостата. Тепловой баланс можно записать в следующем виде:

$$P = c_p \cdot m \cdot \Delta t + N,$$

где N — суммарная мощность тепловых потерь.

Естественно предположить, что при небольшом изменении температуры Δt воздуха при нагреве ($\Delta t \ll T$) мощность потерь N пропорциональна разности температур: $N = \alpha \cdot \Delta t$. Тогда

$$P = \Delta t \cdot (c_p \cdot m + a) = \beta \cdot \Delta t$$

Суть эксперимента состоит в том, чтобы получить зависимость для нескольких значений масс прокачиваемого воздуха и, используя соотношение для P , определить удельную теплоёмкость воздуха c_p и оценить долю тепловых потерь.

Ход работы

1. Значение температуры $T_{\text{комн}} = 298.15$ К. Значение атмосферного давления в комнате $P_{\text{атм}} = 99370$ Па. Влажность воздуха $h = 73\%$.
2. Расход воздуха $Q_1 = 0.0904$ л / с. Тогда масса прокачиваемого воздуха $m_1 = 10.5 \cdot 10^{-5}$ кг.

ξ , В	I , В	U , В	Δt , К	P , Вт	R , Ом
0.097	119.98	3.48	2.29	0.42	29.00
0.143	152.38	4.22	3.38	0.64	27.69
0.238	188.26	5.47	5.63	1.03	29.06
0.295	220.42	6.41	6.97	1.41	29.08

Таблица 1: Таблица зависимости P от Δt

Построим график зависимости P от Δt .

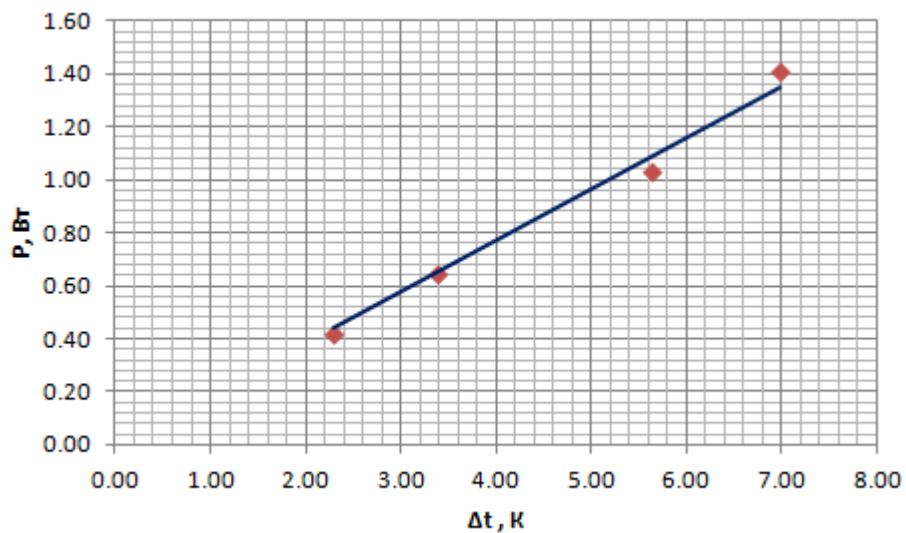


Рис. 2: График зависимости P от Δt

Коэффициент наклона графика:

$$\beta_1 = (0.1936 \pm 0.0473) \frac{\text{Вт}}{\text{К}}$$

3. Расход воздуха $Q_2 = 0.0560$ л / с. Тогда масса прокачиваемого воздуха $m_2 = 6.51 \cdot 10^{-5}$ кг.

ξ , В	I , В	U , В	Δt , К	P , Вт	R , Ом
0.126	123	3.57	2.98	0.44	29.02
0.211	155.75	4.53	4.99	0.71	29.09
0.289	190.13	5.53	6.83	1.05	29.09
0.35	211.17	6.15	8.27	1.30	29.12

Таблица 2: Таблица зависимости P от Δt

Построим график зависимости P от Δt .

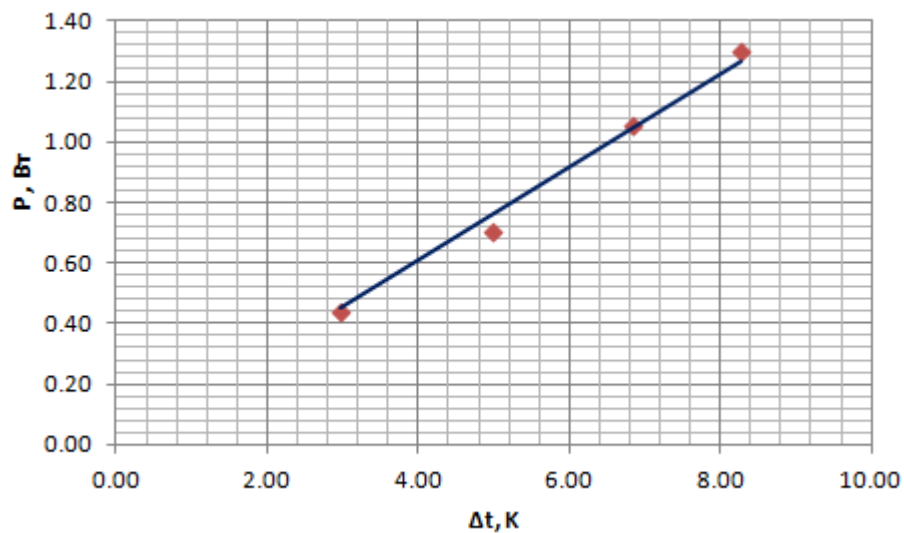


Рис. 3: График зависимости P от Δt

Коэффициент наклона графика:

$$\beta_2 = (0.1528 \pm 0.0260) \frac{W}{K}$$

4. Тогда

$$c_p = \frac{\beta_1 - \beta_2}{m_1 - m_2}$$

Следовательно,

$$c_p = (1.023 \pm 0.134) \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

При этом доля теплотерь:

$$\frac{P}{N} = \frac{\beta}{\beta - c_p \cdot m} \approx 3.68$$