

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут  
Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики

Лабораторна робота № 1  
дисципліна "Технічна термодинаміка"

Виконав:

Перевірив:

Запоріжжя

20\_\_

Тема: Визначення середньої ізобарної теплоємності повітря при атмосферному тиску

Мета: вивчити основні термодинамічні параметри стану газів, теплофізичні параметри речовини – теплоємність, його різновиди, специфічні особливості, а також основи теорії; навчитися методу калориметричного визначення теплоємності.

Теоретичні відомості:

Теплоємність – кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання (охолодження) речовини на один градус, Дж/к

$$C = \frac{\delta Q}{dT}$$

Теплоємність одиниці кількості речовини називається питомою теплоємністю. Розрізняють питоми масову  $C$ , Дж/(кг·К); об'ємну  $C'$ , Дж/(м<sup>3</sup>·К); молярну  $\mu C$ , Дж/(моль·К).

Питома теплоємність тіла залежить від хімічного складу, параметрів стану робочого тіла, а також від виду процесу. Залежність між питомими теплоємностями

$$C = \frac{\mu C}{\mu}; \quad C' = \frac{\mu C}{22,4}; \quad C' = C \cdot \rho = \frac{\mu C \cdot \rho}{\mu}$$

Істина теплоємність – похідна від кількості тепла, яка підведена до тіла, по температурі його тіла

$$C = \frac{\delta q}{dT}$$

Середня теплоємність ( $C_m$ ) – теплоємність в інтервалі температур  $T_2-T_1$ , при зменшенні різності температур вона наближається до істинної

$$C_m = \frac{q}{T_2 - T_1}$$

У термодинамічних розрахунках велике значення мають:

- теплоємність при постійному тиску (ізобарна теплоємність)

$$C_p = \frac{\delta q_p}{dT} = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

де  $h$  – темп росту ентальпії

- теплоємкість при постійному об'ємі

$$C_v = \frac{\delta q_v}{dT} = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_v$$

Між ізобарним  $C_p$  та ізохорним  $C_v$  теплоємкостями існує взаємозв'язок, який описується рівнянням Майєра:

- для ідеального газу

$$C_p = C_v + R$$

де  $R$  – газова постійна, Дж/(кг·К)

- для реального газу

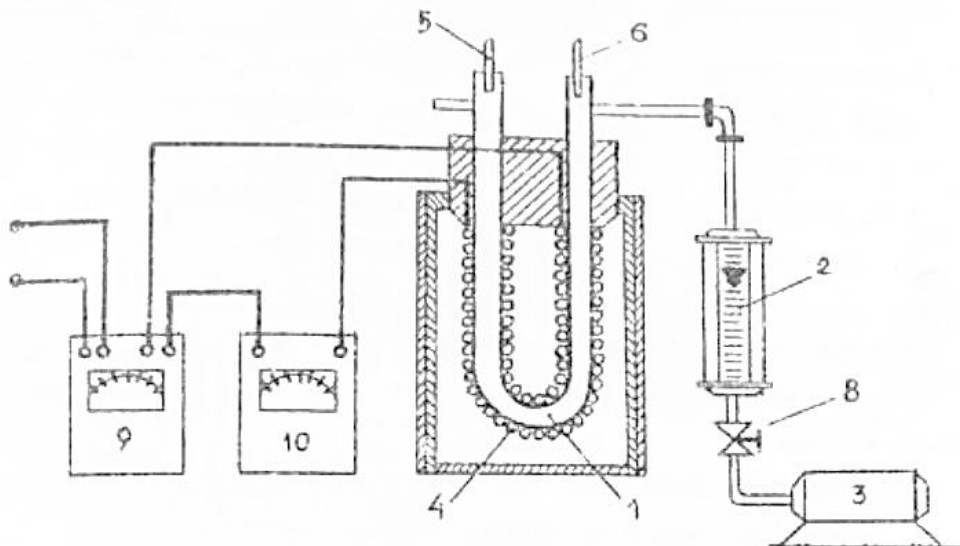
$$C_p = C_v + \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

Експериментальна установка:

Схема установки представлена на рисунку 1.1, яка включає в себе проточний калориметр, що виконаний у вигляді судини Дьюара, ротаметр для вимірювання кількості повітря, що поступає від компресора у калориметр; підігрівач, який розташований у калориметрі; термометри для вимірювання температури повітря до та після нагріву та вимірювач кількості електроенергії, яка витрачена на нагрівання повітря від початкової до кінцевої температури.

Порядок виконання:

Ознайомитися з пристроєм установки (рисунок 1.1).



1 – проточний калориметр; 2 – ротаметр; 3 – компресор; 4 – підігрівач; 5 та 6 – термометри; 7 – вимірювач кількості електроенергії; 8 – вентиль

Рисунок 1.1 – Схема установки для визначення теплоємкості повітря

Увімкнути компресор, заповнити ресивер стисненим повітрям до тиску 0,35...0,4 МПа, коли тиск досягне вказаного значення вимкнути компресор. Увімкнути нагрівач, витрати повітря контролювати за допомогою ротаметра (40...60 поділок шкали) та зафіксувати показання з термометрів. За допомогою отриманих вимірів розраховуємо середню теплоємкість газу.

Електричний струм, що подається на нагрівач, постійний, отримуємо за допомогою випрямляча. Витрати електроенергії фіксуються по ватметру. Таким чином, зняті показання термометрів, ватметра та ротаметра слід виробляти після того, як показання термометрів стабілізуються.

Інтервал зняття показання пристроїв – 2 хв, число вимірів 3-4. Після закінчення досвіду слід записати температуру та барометричний тиск. Результати вимірювань занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати вимірювань

№	Витрата повітря		Температура повітря		Витрата електро-енергії	Показання термометрів	
	за ротометром, бар	V, м <sup>3</sup> /с	вхід, T <sub>1</sub> , °C	вихід, T <sub>2</sub> , °C	W, Вт	вхід, t <sub>1</sub> , °C	вихід, t <sub>2</sub> , °C
1							
2							
3							
Серед.							

Розрахунки:

1. Об'ємну витрату повітря  $V_v$ , визначаємо з тарувального графіка (рисунок 1.2) за показаннями ротаметра

$$2. V_v \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

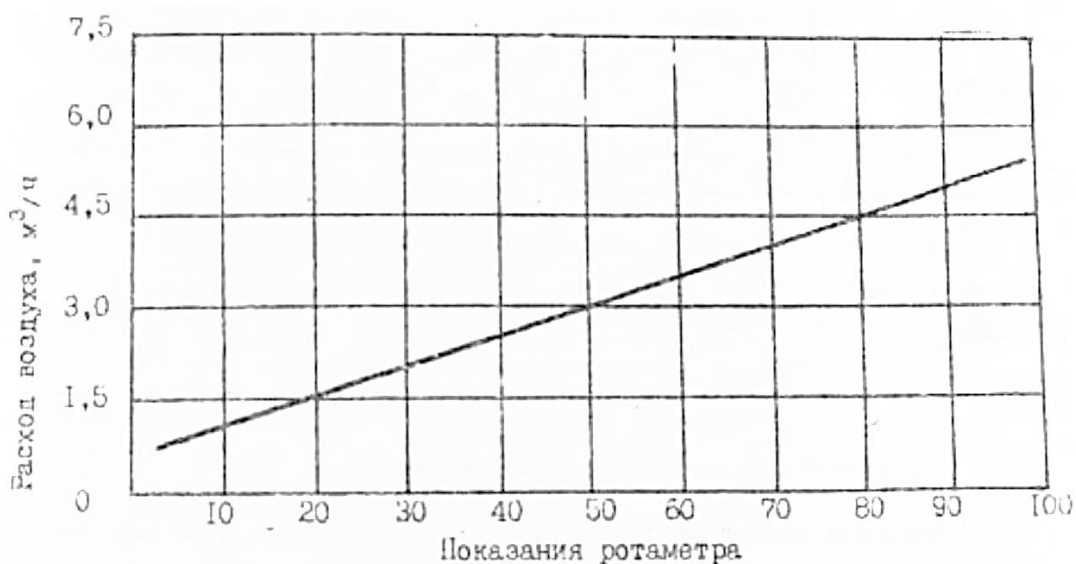


Рисунок 1.2 – Графік для визначення витрат повітря

3. Приводимо витрати повітря до нормальних умов

$$V_{v0} = \frac{P_6 \cdot V_v \cdot T_0}{T_v \cdot P_0}$$

де  $P_0$  – барометричний тиск, Па

$$P_0 = 101325 \text{ Па}$$

$V_B$  – об'ємна витрата повітря через калориметр, м<sup>3</sup>/с;

$T_B$  – абсолютна температура повітря, К

$$T_B = 294,15 \text{ К}$$

$$T_0 = 273,15 \text{ К} \quad P_0 = 101325 \text{ Па}$$

За виміряними величинами розраховуємо середню об'ємну та вагову теплоємність  $C'_p$  та  $C_p$  для інтервалу температур  $T_2$ - $T_1$  за формулою

$$C'_p = \frac{W}{1000 \cdot V_{B0} (T_2 - T_1)} \quad \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$$

$$C_p = \frac{C'_p \cdot V_\mu}{\mu_B}$$

де  $\mu_B$  – молекулярна маса повітря

$$\mu_B = 28,96 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$V_\mu$  – молярне об'ємне повітря

$$V_\mu = 22,4 \frac{\text{м}^3}{\text{кмоль}}$$

4. Середня об'ємна та вагова  $C'_v$  та  $C_v$  ізохорні теплоємності визначаємо з рівняння Майєра

$$C_v = C_p - R_B$$

$$C'_v = C'_p - C_v \cdot \rho_{B0}$$

де  $R_B$  – газова постійна сухого повітря

$$R_B = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}$$

$\rho_{B0}$  – щільність повітря

$$\rho_{B0} = 1,293 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

5. Ентальпія повітря при  $T_2$  на виході з калориметра розраховуємо за наступним виразом

$$h_{2B} = C_p \cdot T_2$$

6. Значення внутрішньої енергії при  $T_2$  на виході з калориметра визначаємо за формулою

$$U_{2в} = C_v \cdot T_2$$

7. Коефіцієнт адіабати визначаємо наступним образом

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

Результати розрахунків занесені до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків

Теплоємність $C_p$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	Ентальпія $h_2$ , кДж/кг	Внутрішня енергія $U_2$ , кДж/кг	Показник адіабати $k$

Висновок: