

ТЕМА. СУМІШІ ІДЕАЛЬНИХ ГАЗІВ. ТЕПЛОЄМКІСТЬ

У природі і техніці часто приходиться мати справи з неоднорідними газами (сумішами). Наприклад, повітря, продукти згоряння палива (димові гази), природні і штучні пальні гази і т.ін.

Склад газової суміші може бути заданий трьома способами: масовим складом, об'ємним складом, і складом суміші заданої кількістю кіломолей усіх компонентів.

1. МАСОВИЙ СКЛАД ГАЗОВОЇ СУМІШІ

Він задається масовими частками, що позначаються

$$g_1 = \frac{M_1}{\sum_1^n M_K} ; \quad g_2 = \frac{M_2}{\sum_1^n M_K} ; \quad \dots \quad g_K = \frac{M_K}{\sum_1^n M_K} , \quad (1)$$

де M_1, M_2, \dots, M_K – маси окремих газів

$$\sum_{i=1}^n M_K = M_1 + \dots + M_K + \dots + M_n \quad (2)$$

Сума мас усіх компонентів дорівнює масі суміші

$$\sum_{i=1}^n g_k = 1 ; \quad \text{або} \quad \sum_{i=1}^n g_k = 100\% . \quad (3)$$

2. ОБ'ЄМНИЙ СКЛАД ГАЗОВОЇ СУМІШІ

Він задається об'ємними частками

$$r_1 = \frac{V_1}{\sum_{i=1}^n V_K} ; \quad r_n = \frac{V_n}{\sum_{i=1}^n V_K} , \quad (4)$$

де V_1, \dots, V_K – парціальні об'єми компонентів.

$$\sum_{i=1}^n V_K = V_1 + \dots + V_K + \dots + V_n . \quad (5)$$

Парціальний об'єм – це об'єм, який займає компонент поза сумішшю при тиску і температурі суміші.

Знаходячись у складі суміші компонент займає весь об'єм суміші і знаходиться під своїм парціальним тиском.

Закон Дальтона. Сума парціальних тисків усіх компонентів дорівнює повному тиску

$$P = \sum_{i=1}^n P_K = P_1 + P_2 + \dots + P_K + \dots + P_n. \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n r_k = 1; \quad \text{або} \quad \sum_{i=1}^n r_k = 100\%. \quad (7)$$

3. МОЛЬНИЙ СКЛАД СУМІШІ

Позначимо кількість кіломолей компонентів через K

$$K_1 = \frac{M_1}{\mu_1}; \quad K_2 = \frac{M_2}{\mu_2}, \quad K_n = \frac{M_n}{\mu_n}. \quad (8)$$

$$\sum_I^n K_K = K_1 + \dots + K_K + \dots + K_n. \quad (9)$$

Звичайно в цьому випадку переходять до об'ємного складу по приведених формулах при $P = \text{const}$.

$$r_1 = \frac{K_1}{\sum_{i=1}^n K_K}; \quad r_2 = \frac{K_2}{\sum_{i=1}^n K_K}; \quad \dots \quad r_n = \frac{K_n}{\sum_{i=1}^n K_K}. \quad (10)$$

Формули перерахування

$$r_i = \frac{\frac{g_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{g_K}{\mu_K}} \quad (11)$$

де μ_i – молярна маса i -го компонента;

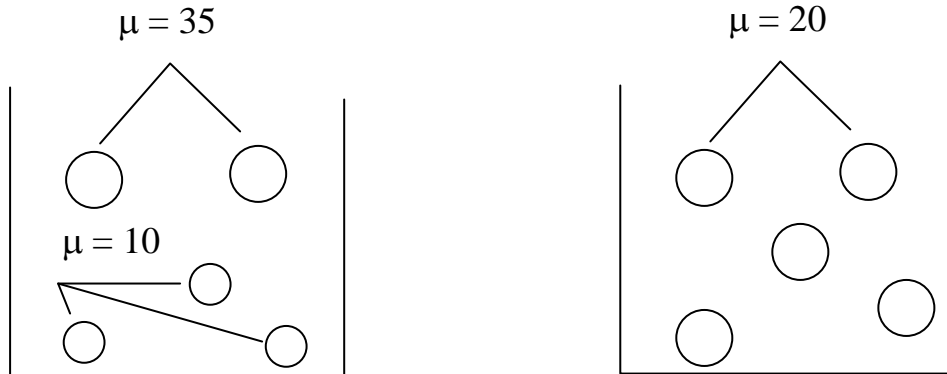
$$g_i = \frac{r_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n r_K \cdot \mu_K}. \quad (12)$$

Парціальні тиски компонентів можуть бути визначені за формулами

$$P_i = P \cdot g_K \cdot \frac{\mu_{\text{суміші}}}{\mu_K}, \quad P_n = P \cdot r_n, \quad (13)$$

де P – тиск усієї суміші, Па.

СЕРЕДНЯ (УДАВАНА) МОЛЕКУЛЯРНА МАСА ГАЗОВОЇ СУМІШІ



$$n = 5, \sum_{i=1}^n \mu_i = 100.$$

$$n = 5, \sum_{i=1}^n \mu_i = 100.$$

Середня молекулярна маса газової суміші $\mu_{\text{сум}}$ – це молекулярна маса однорідного газу яким можна думкою замінити суміш за умови, що кількість молекул в обох випадках однакова ($n = 5$) та сума молекулярних мас так само однакова $\sum_{i=1}^n \mu_i = 100$.

Для визначення $\mu_{\text{сум}}$ необхідно знати: склад суміші (заданий будь-яким способом) і молекулярні маси всіх компонентів.

$$\mu_{\text{сум}} = \frac{1}{\sum \frac{\mu_K}{g_K}}; \quad \text{або} \quad \mu_{\text{сум}} = \sum \mu_K \cdot r_K \quad (14)$$

Характеристичне рівняння для суміші:

$$P \cdot U = R_{\text{сум}} \cdot T, \quad (15)$$

або
$$P \cdot V = M \cdot R_{\text{сум}} \cdot T. \quad (16)$$

Питомий об'єм одного кіломоля суміші газів при нормальних умовах

$$v_{H.сум} = \frac{22,4}{\mu_{сум}}. \quad (17)$$

Газова стала суміші газів $R_{сум} = \frac{8314}{\mu_{сум}}. \quad (16)$

ТЕМА 4. ТЕПЛОЄМКІСТЬ ІДЕАЛЬНИХ ГАЗІВ І ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ

Теплоємкістю називається кількість теплоти, яка необхідна для зміни температури одиниці кількості газу на 1 градус у заданому процесі зміни стану газу.

Вивченням теплоємкості займається молекулярно-кінетична і далі квантова теорія.

1. ВИДИ ТЕПЛОЄМКОСТЕЙ, ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ НИМИ Й ОДИНИЦІ ВИМІРУ

У залежності від того, у яких одиницях вимірюється кількість газу теплоємкості бувають:

1. Масова (кг) C ;
2. Об'ємна (m^3) C' ;
3. Мольна (кмоль) μC .

У залежності від умов вимірювання теплоємності бувають:

1. Ізобарна ($p = \text{const}$) $C_p, C_p', \mu C_p$;
2. Ізохорна ($v = \text{const}$). $C_v, C_v', \mu C_v$.

Позначаються ці теплоємності так:

В залежності від одиниць кількості газу	Масова	Об'ємна	Мольна
В залежності від умов вимірювання			
Ізобарна, $P = \text{const}$ Ізохорна $V = \text{const}$ Одиниці вимірювання	C_p C_v кДж/(кг*К)	C_p' C_v' кДж/(m^3 *К)	μC_p μC_v кДж/(кмоль*К)

Раніше зустрічалася розмірність теплоємності, [ккал/(кг*град)]

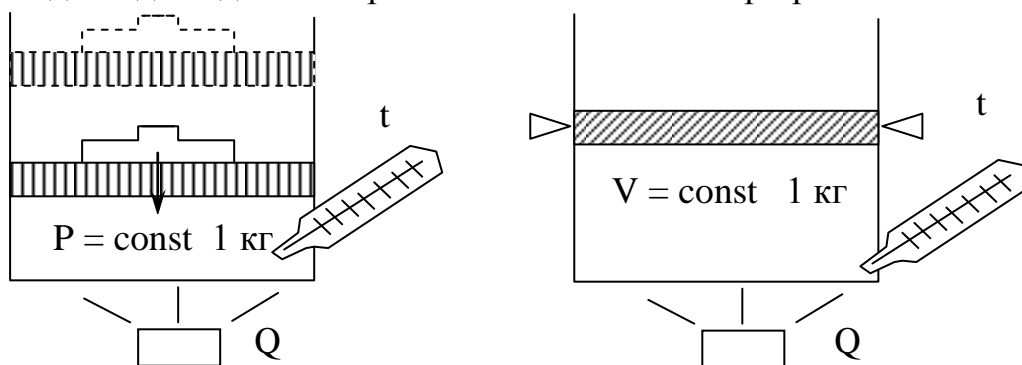
$$1 \text{ ккал} = 4,186 \text{ кДж.}$$

Від одного виду теплоємності можна перейти до іншого за співвідношеннями

$$C = c' \cdot V; \quad c = \frac{\mu C}{\mu}; \quad c' = \frac{\mu C}{22,4}. \quad (17)$$

де $22,4 = \mu V_H$ – об'єм 1-го кіломолю будь-якого газу при нормальних умовах.

Проведемо дослід по вимірюванню теплоємності при $p = \text{const}$ і $v = \text{const}$.



Нагріємо газ в обох випадках на 1°C , тоді

$$\mu C_P - \mu C_V = R\mu = 8314 \quad \text{кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{K}), \quad (18)$$

це формула Майєра, або

$$C_P - C_V = R. \quad (19)$$

Відношення мольних теплоємностей це - коефіцієнт Пуассона (k)

$$\frac{\mu C_P}{\mu C_V} = \frac{C_P}{C_V} = k. \quad (20)$$

У загальному випадку теплоємність ідеального газу залежить від температури за складним законом.

У зв'язку з цим розрізняють **ДІЙСНУ ТЕПЛОЄМНІСТЬ**

$$C = \frac{dq}{dt} \quad (21)$$

і **СЕРЕДНЮ ТЕПЛОЄМНІСТЬ**

$$C_{t_1}^{t_2} = \frac{q_{1-2}}{t_2 - t_1}, \quad (22)$$

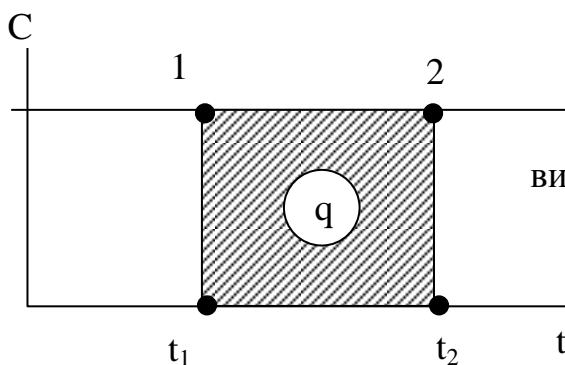
де q_{1-2} – кількість теплоти в довільному процесі 1-2;

$t_2 - t_1$ – температури газу на початку і у кінці процесу.

На практиці розрізняють 3 випадки залежності теплоємності від температури:

1. Постійна.
2. Лінійна.
3. Нелінійна.

ПОСТІЙНА ТЕПЛОЄМКІСТЬ



q – кількість теплоти, яку необхідно витратити для нагрівання 1 кг газу від t_1 до t_2 .

Кількість теплоти у цьому випадку визначається за формулами

$$Q_{P(v)} = M \cdot C_{P(v)} \cdot (t_2 - t_1), \quad \text{кДж}, \quad (23)$$

або

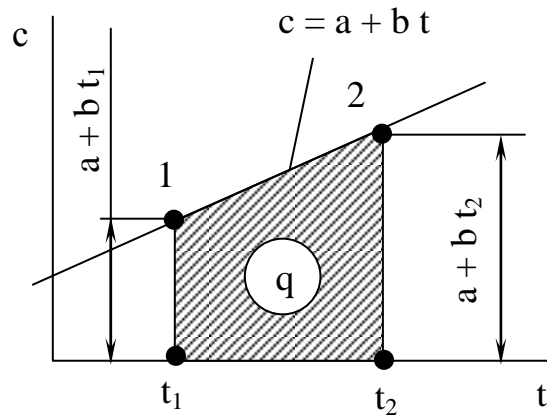
$$Q_{P(v)} = V_H \cdot C'_{P(v)} \cdot (t_2 - t_1), \quad \text{кДж} \quad (24)$$

де V_H – об'єм газу приведений до нормальних умов.

Значення C і C' приймається за мольними теплоємностями відповідно до таблиці

Кількість атомів у молекулі газу	μC_V , кДж/кмоль*К	μC_P , кДж/кмоль*К
1 атом.	$\left(3 \cdot \frac{R}{2}\right) = 12,5$	$\left(5 \cdot \frac{R}{2}\right) = 20,8$
2 атоми	$\left(5 \cdot \frac{R}{2}\right) = 20,8$	$\left(7 \cdot \frac{R}{2}\right) = 29,1$
3 атоми (або багато атомів)	$\left(7 \cdot \frac{R}{2}\right) = 29,1$	$\left(7 \cdot \frac{R}{2}\right) = 37,4$

ЛІНІЙНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕПЛОЄМКОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ



Кількість теплоти у цьому випадку визначається за формулами

$$Q_{P(v)} = M \cdot C_{P(v)M} \cdot (t_2 - t_1), \text{ кДж} \quad (25)$$

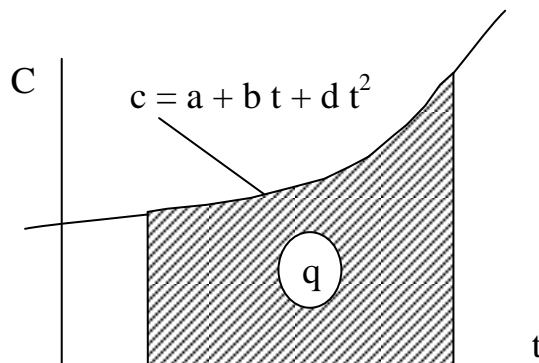
або
$$Q_{P(v)} = V_H \cdot C'_{P(v)M} \cdot (t_2 - t_1), \text{ кДж} \quad (26)$$

де C_M - середня теплоємкість, яка обчислюється за формулою

$$C_M = \frac{C_1 + C_2}{2} = \frac{(a + b \cdot t_1) + (a + b \cdot t_2)}{2} = a + b \cdot \frac{(t_1 + t_2)}{2}, \quad (27)$$

де a і b – коефіцієнти, які визначають за довідником.

НЕЛІНІЙНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ТЕПЛОЄМКОСТІ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ



Кількість теплоти у цьому випадку визначається за формулами

$$Q_P = M \left(C_{pm}^{t_2} \cdot t_2 - C_{pm}^{t_1} \cdot t_1 \right), \text{ кДж} \quad (28)$$

або

$$Q_P = V_n \left(C_{pm}'^{t_2} \cdot t_2 - C_{pm}'^{t_1} \cdot t_1 \right), \text{ кДж} \quad (29)$$

де C_0^t - середня теплоємкість в інтервалі температур від 0 до t , значення беруть з таблиці.

Газ	N ₂	O ₂	CO ₂	повітря
Температура				
100	29,04	29,53	38,11	29,15
200	29,13	29,93	40,06	29,30

ТЕПЛОЄМКІСТЬ ГАЗОВОЇ СУМІШІ

Для визначення теплоємкості газової суміші необхідно знати склад суміші, заданий будь-яким способом і теплоємкості окремих компонентів.

При масовому складі газової суміші

$$C_{C_M} = \sum_{i=1}^n C_K \cdot g_K \quad (30)$$

При об'ємному складі газової суміші

$$C_{C_M}' = \sum_{i=1}^n C_K' \cdot r_K \cdot \quad (31)$$

При мольному складі газової суміші

$$\mu C_{C_M} = \sum_{i=1}^n \mu C_K \cdot r_K \cdot \quad (32)$$

ТЕПЛОЄМКІСТЬ У ПОЛІТРОПНОМУ ПРОЦЕСІ

Теплоємкість обчислюється шляхом рішення системи рівнянь

$$\begin{cases} q = C \cdot (T_2 - T_1) \\ q = \Delta u + l = C_V \cdot (T_2 - T_1) + \frac{R}{1-n} (T_2 - T_1) \end{cases} \quad (33)$$

З системи рівнянь (33) знайдемо теплоємність у політропному процесі

$$\begin{aligned} C &= C_V - \frac{R}{n-1} = \frac{C_V \cdot (n-1) - (C_P - C_V)}{n-1} = \frac{C_V \cdot (n-1) - C_V \cdot \left(\frac{C_P}{C_V} - \frac{C_V}{C_V} \right)}{n-1} = \\ &= C_V \cdot \frac{n-1-k+1}{n-1} = C_V \cdot \frac{n-k}{n-1} \\ &\boxed{C = C_V \cdot \frac{n-k}{n-1}} \end{aligned} \quad (34)$$