

Інструкція для виконання практичної роботи №1

Тема: Розв'язання задач на тему : «Основні закони ідеальних газів»

1 Мета: Набути навички практичного застосування основних законів ідеальних газів.

2. Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуш формату А4

2.2 Олівець

2.3 Лінійка

2.4 Калькулятор

2.5 Завдання

3. Теоретичні відомості

Стан робочого тіла (газ, водяна пара) характеризується основними параметрами : абсолютний тиск p ; питомий об'єм V , термодинамічна температура T тобто у стані 1 робоче тіло має параметри (P_1, V_1, T_1) у стані 2- (P_2, V_2, T_2)

Абсолютний тиск: якщо $P > P_{\text{атм}}$ то $P_{\text{абс}} = P_m + P_{\text{атм}}$, якщо $P < P_{\text{абс}}$ то $P_{\text{абс}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{ва}}$

питомий об'єм $V = v/m \quad m^3/\text{кг}$

Нормальні умови стану газу : $T_H = 273,15$; $P_H = 101325 \text{ Н/м}^2$

Робоче тіло може бути переведено із стану 1 в стан 2 різними умовами : 1.

При постійній температурі – ізотермічний процес $T = \text{const}$, при цьому $P_1 V_1 = P_2 V_2 = PV = \text{const}$ тобто $P_1/P_2 = V_2 / V_1$

2 при постійному об'ємі $V = \text{const}$, при цьому $P_1 / P_2 = T_1 / T_2$

3 при постійному тиску $p = \text{const}$ $V_1/V_2 = T_1 / T_2$

Робоче тіло при переході із стану 1 у стан 2 може змінювати всі параметри $P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2 = PV / T = \text{const}$

Постійна величина співвідношення PV/T називається питома газова постійна і позначається R_0 , тобто $PV/T = R_0$ або $PV = R_0 T$ – рівняння Клайперона для одного кілограма тіла, якщо в процесі деяка маса, то рівняння має вигляд :

$PV \times m = m R_0 T$, якщо $V \times M = V$ то $PV = m R_0 T$

Для одного моля газу рівняння Клайперона має вигляд $PVM = M R_0 T$ або $PVm = M R_0 T$

де : $V m$ – молярний об'єм газу ; M – молярна маса

При нормальних умовах відповідно закону Авогадро $Vm = 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$

При однакових тисках і температурі для любого газу співвідношення

$P_H V_M / T_H = 8314,3 \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$ величина постійна і називається універсальною газовою постійною і позначається R по якій можна визначити питому газову постійну певного газу

$R_0 \cdot R_0 = \frac{R}{M} = \frac{8314}{M}$ де M – молярна маса певного газу, яка визначається відповідно молярної маси M_2 . Так наприклад : відносна молярна маса кисню O_2 $16 \times 2 = 32$ то $M = M_2 / 10^{-3}$

Об'єм газу V , який знаходиться у довільних умовах (P, T) може бути приведена до нормальних фізичних умов (н. ф. у.) по формулі :

$$V_H = V \frac{P_H T}{P T_H}; V_H = 22,4/M; \rho = M / 22,4$$

4 Хід роботи

4.1 З розумінням визначити умову задачі : визначити вихідні дані та невідомі.

4.2 Визначити невідомі і їх математичне визначення.

4.3 Якщо математичним визначенням невідомі однозначно не визначаються , скласти додаткове рівняння .

4.4 Провести всі значення вихідних даних до однієї системи вимірювання (як правило до системи СІ) визначити невідомі.

4.5 Всі кроки рішення задачі виконувати з поясненням

Приклад рішення

Задача 1 Визначити абсолютний тиск газу в резервуарі якщо ртутний манометр показує тиск 305 мм. рт. ст , а барометр 745 мм. рт. ст.

рішення: $P_{аб} = P_m + P_{ам} = 305 + 745 = 1050$ мм. рт. ст.

тиск в системі СІ $P_{аб} = 1050 \times 133,3 = 1,399 \times 10^5$ Н/м²

Задача 2 Визначити молярний об'єм V_m при відомих : $p = 0,1$ МПа і температурі $t = 15$ °С

Рішення : молярний об'єм V_m тиск і температура пов'язані рівнянням

Клайперона – Менделєєва $p V_m = RT$ тобто $V_m = \frac{RT}{p}$. де R – універсальна

газова постійна $R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

T – термодинамічна температура $T = 273 + 15 = 283$ К

$V_m = \frac{8,3 \times 288}{0,1 \times 10^6} = 0,024$ м³/ моль.

Задача 3 У балоні утримується кисень масою 2 кг при тиску 8,3 Мпа і температурі 15°C. Визначити ємність балона

Рішення: Відповідно рівняння Клайперона $pV = m R_0 T$

Визначається об'єм балона $V = \frac{m R_0 T}{p}$

Невідома питома газова постійна R_0 для кисню визначається із газової постійної R та молярної маси M_a співвідношенням

$$R_0 = \frac{R}{M_a} = \frac{8300}{32} = 259,4 \frac{\text{Дж}}{\text{моль К}}$$

$$V = \frac{2 \times 259,4 \times 288}{8,3 \times 10^6} = 0,0179 \text{ м}^3 = 18 \text{ л}$$

5 Задачі, які виносяться на самостійне рішення

Задача 1 При температурі 20°C тиск у балоні із киснем 100 бар. Як зміниться тиск, який показує манометр, якщо балон буде охолоджений до -30°C Барометричний тиск при цьому 10^5 Н/м^2

Задача 2 Визначити молекулярну масу газу, якщо в поєднанні ємністю 1 л при температурі 15°C і тиску $2 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$ утримується 0,00267 кг газу

Задача 3 Яку кількість повітря повинно бути подано компресором у балон ємністю 20 л, щоб при температурі 18°C барометричному тиску 745 мм. рт. ст. тиск у ньому підвищився з 10 до 20 бар

6 Висновки

Література :

А. В. Чернов, Н. К. Бесеребренников Основы теплотехники и гидравлики издательство «Энергия» М. 1965

О. Н. Брюханов, А. Т. Мелик – Аркекен, В:И. Коробко Основы гидравлики и теплотехники М. Издательский центр «Академия» 2006

Інструкція для виконання практичної роботи № 2

Тема: Розв'язання задач на тему «Теплоємність газів та суміші газів»

1 Мета : Набути навички практичного застосування та визначення суміші газів

2 Матеріально-технічне та наглядно методичне забезпечення :

2.1 Аркуш формату А4

2.2 Олівець

2.3 Лінійка

2.4 Калькулятор

2.5 Завдання

3 Теоретичні відомості

Склад суміші рідин , газів і пари виражаються масовими або молярними долями компонентів суміші, а газова суміш також об'ємними долями .

а) масові долі $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = 1$ де $\omega_i = m_i/m$

m_i – маса (кг) i – того компонента суміші m – маса суміші (кг)

б) молярні долі $x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$ де $x_i = n_i / n$

де n_i - кількість речовини в суміші , n – кількість речовини суміші , моль

в) Об'ємні долі газової суміші $V_1/V = n_1/n = x_1$

де V_i – об'єм i того компонента суміші , V – загальний об'єм газової суміші

Співвідношення між масовими і молярними долями $\omega_i = x_i M_i / M$

$x_i = \omega_i M / M_i$

Молярна маса суміші по відомим молярним долям $M_{\text{см}} = M_1 x_1 + M_2 x_2 + \dots + M_n x_n$

Молярна маса суміші по відомим масовим долям

$$M_{\text{см}} = \frac{1}{\frac{\omega_1}{M_1} + \frac{\omega_2}{M_2} + \dots + \frac{\omega_n}{M_n}}$$

Теплоємність газу та суміші газу

Позначення теплоємності : C – питома теплоємність , C_m - молярна теплоємність ; \bar{C}_m - середня питома молярна теплоємність , \bar{C}_M - середня питома молярна теплоємність , визначається через середню температуру $(t_1+t_2)/2 = \bar{t} \rightarrow \bar{C}$. Істинні теплоємності при певній температурі визначаються по таблицям .

У теплових умовах розрахунок використовується середні теплоємності

$$\bar{C} = Q_{1-2} / [m(T_2-T_1)] \quad \text{Дж} / (\text{кг} \times \text{К})$$

$$\bar{C}_m = Q_{1-2} / [n(T_2-T_1)] \quad \text{Дж} / (\text{моль} \times \text{К})$$

Залежність між питомою і молярною теплоємністю

$$\bar{C} = \bar{C}_m / M \quad \bar{C}_m = \bar{C} \times M$$

Розрізняють ізохорну теплоємність C_v ; \bar{C}_v

ізобарну теплоємність C_p ; \bar{C}_p

Теплоємність суміші газу. Якщо середню теплоємність суміші позначити $\bar{C}_{см}$, то кількість теплоти необхідної для підвищення температури суміші від T_1 до T_2

$$Q_{1-2} = m \bar{C}_{см} (T_2 - T_1) = m_1 \bar{C}_1 (T_2 - T_1) + m_2 \bar{C}_2 (T_2 - T_1) + \dots \text{і т. д. тобто}$$

$$\bar{C}_{см} = \omega_1 \bar{C}_1 + \omega_2 \bar{C}_2 + \dots + \omega_n \bar{C}_n$$

Якщо суміш задана молярними долями компонентів

$x_1 = n_1/n$; $x_2 = n_2/n$ молярні теплоємності відомі

\bar{C}_{m1} ; \bar{C}_{m2} ; \bar{C}_{mn} то

$$\bar{C}_{мсм} = n_1/n \bar{C}_{m1} + n_2/n \bar{C}_{m2} + \dots + n_n/n \bar{C}_{mn}$$

$$\bar{C}_{m1см} = x_1 \bar{C}_{m1} + x_2 \bar{C}_{m2} + \dots + x_n \bar{C}_{mn}$$

4 Хід роботи

4.1 З розумінням визначити умову задачі, визначити вихідні дані та невідомі

4.2 Визначити невідомі і їх математичне визначення

4.3 Якщо математичним визначення невідомі однозначно не визначаються, скласти додаткове рівняння

4.4 Провести всі значення вихідних даних до однієї системи вимірювань (як правило до системи СІ)

4.5 Всі кроки рішення задачі виконувати з поясненням

Приклад рішення. Задача 1

Визначити питому газову постійну суміші, яка складається із азота з приведеним об'ємом $0,4 \text{ м}^3$ і кисню з приведеним об'ємом $0,2 \text{ м}^3$

Рішення. Відповідно умови задачі та вихідних даних питома газова постійна визначається рівнянням $R_0 = R / M_{\text{ем}}$ де R – універсальна газова постійна, для будь-якого газу має значення: для одного моля $8,3 \text{ Дж}/(\text{моль} \times \text{К})$

$M_{\text{ем}}$ – молярна маса суміші, яка визначається співвідношенням

$$M_{\text{ем}} = X_{\text{a}} \times M_{\text{a}} + X_{\text{N}_2} \times M_{\text{N}_2}$$

де X_{O_2} ; X_{N_2} – молярні суміші (об'ємні долі)

$$X_{\text{O}_2} = V_{\text{O}_2} / V = ; X_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2} / V$$

Визначаємо загальний об'єм суміші $V = V_{\text{a}} + V_{\text{N}_2} = 0,2 + 0,4 = 0,6 \text{ м}^3$

$$X_{\text{O}_2} = 0,2/0,6 = 0,333 ; X_{\text{N}_2} = 0,4/0,6 = 0,667$$

Визначається молярні маси кисню та азоту

$$M_{\text{O}_2} = \frac{M_2}{10^{-3}} = \frac{2 \times 16}{10^{-3}} = 32 \times 10^{-3} \text{ кг/моль} \quad M_{\text{N}_2} = \frac{M_2}{10^{-3}} = \frac{2 \times 14}{10^{-3}} \text{ кг/моль}$$

Визначається молярна маса суміші

$$M_{\text{см}} = (0,333 \times 32 + 0,667 \times 28) \times 10^{-3} \text{ кг/моль} = 29,34 \text{ кг/моль}$$

Питома газова постійна $R_0 = R/M_{\text{ем}} = 8,3 / 29,34 \times 10^{-3} = 283 \text{ Дж} / (\text{кг} \times \text{К})$

Задача 2 Знайти (для умови задачі 1) парціальні тиски азота (N_2) та кисню (O_2) газової суміші, якщо тиск суміші $p = 0,1 \text{ МПа}$

Рішення: Парціальні тиски компонентів:

$$P_{\text{O}_2} = X_{\text{O}_2} \times p = 0,333 \times 0,1 = 33,3 \text{ кПа}$$

$$P_{\text{N}_2} = X_{\text{N}_2} \times p = 0,667 \times 0,1 = 67,7 \text{ кПа}$$

Задача 3 Знайти середню молярну ізобарну теплоємність вуглекислого газу (CO_2) при підвищенні його температури від 200 до 1000°C

Рішення: Знайти $\overline{C_{\text{рм}}}$ можна з рівняння $\overline{C_{\text{рм}}} = \overline{C_{\text{р}}} \times M_{\text{CO}_2}$

Визначається молярна маса вуглекислого газу $M_{\text{ca}} = \frac{M_{2\text{ca}}}{10^{-3}} = M_{2\text{ca}} = 12 + (16 \times 2) = 44$

Тобто $M_{\text{ca}} = 44 \times 10^{-3} \text{ кг/моль}$

Середню питому ізобарну теплоємність $\overline{C_{\text{р}}}$ визначається із таблиці, як істинну ізобарну теплоємність при середній температурі

$$\bar{t} = (t_1 + t_2) / 2 = (200 + 1000) / 2 = 600^\circ\text{C}$$

По таблицям при $\bar{t} = 600^\circ\text{C}$ питома ізобарна теплоємність $1,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \times \text{К})$,

$$\text{Тобто } \overline{C_{pm}} = \overline{C_p} \times M_{ca} = 1,2 \times 44 \times 10^{-3} = 52,89 \frac{\text{КДж}}{\text{мольК}}$$

Задача 1 Температура суміші , яка складається із азота масою 3 кг і кисню масою 2 кг , в наслідок підведення теплоти при постійному об'ємі підвищується від 100 до 1100 °С

Визначити кількість теплоти , яку підвели до суміші газів.

Задача 2 Газова суміш складається із 2 кг вуглекислого газу CO₂, 1 кг азота (H₂) , 0,5 кг (O₂) . Знайти середню молярну ізобарну теплоємність суміші і інтервалі температур (200 – 800) ° С

6 Висновки

Література :

А. В. Чернов, Н. К. Бесеребренников Основы теплотехники и гидравлики издательство «Энергия» М. 1965

О. Н. Брюханов , А. Т. Мелик – Арекелен , В:И. Коробко Основы гидравлики и теплотехники М. Издательский центр «Академия» 2006

Інструкція для виконання практичної роботи № 3

Тема : Розв'язання задач на тему: Термодинамічні процеси.

1 Мета: Набути практичні навички по визначенню теплоти та роботи термодинамічних процесів.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуш формату А4

2.2 Олівець

2.3 Лінійка

2.4 Калькулятор

2.5 Завдання

3 Теоретичні відомості

3.1 Ізохорний процес , Термодинамічний процес , який протікає при постійному об'єму . Математичне визначення процесу $V = \text{const}$

Відповідно першого закону термодинаміки $q_{1-2} = (U_2 - U_1) + l_{1-2}$,

Якщо $V = \text{const}$ то $l_{1-2} = p (U_2 - U_1) = 0$, тобто вся теплота яка підведена до робочого тіла йде на збільшення питомої внутрішньої енергії . Маючи на

увазі $\bar{C} = Q_{1-2}/[m(t_2-t_1)]$ для одного кг робочого тіла $q_{1-2} = \bar{C}_u (T_2 - T_1)$

тобто $(U_2 - U_1) = C_u(T_2 - T_1)$ – для всіх термодинамічних процесів.

Для довільної маси робочого тіла $L_{1-2} = m l_{1-2} = 0$; Зміна внутрішньої енергії

$(U_2 - U_1) = m \bar{C}_u(T_2 - T_1)$, у диференціальній формі $du = C_u dt$

3.2 Ізобарний процес . Термодинамічний процес , який протікає при постійному тиску . Математичне визначення процесу $p = \text{const}$

Відповідно першого закону термодинаміки $q_{1-2} = (U_2 - U_1) + l_{1-2}$

$(U_2 - U_1) = \bar{C}_u(T_2 - T_1)$; $l_1 = p(U_2 - U_1)$ або $l_{1-2} = R_0(T_2 - T_1)$

$q_{1-2} = \bar{C}_p(T_2 - T_1)$

для довільної маси робочого тіла m

$Q_{1-2} = m \bar{C}_p(T_2 - T_1)$ $L_{1-2} = mR_0(T_2 - T_1)$ $U_2 - U_1 = m\bar{C}_u(T_2 - T_1)$

3-3 Ізотермічний процес. Термодинамічний процес , який протікає при постійній температурі. Математичне визначення процесу $T = \text{const}$.

Відповідно першого закону термодинаміки $q_{1-2} = (U_2 - U_1) + l_{1-2}$

$(U_2 - U_1) = \bar{C}_u(T_2 - T_1) = 0$ тобто q_{1-2} , звідки

$l_{1-2} = p_1 v_1 \ln (v_2/v_1) = p_1 v_1 \times 2,3 \lg (v_2/v_1)$ або $l_{1-2} = p_1 v_1 \ln p_2/p_1$

Або $l_{1-2} = RT \ln p_2 / p_1$; $l_{1-2} = RT \ln \frac{v_2}{v_1}$

3-4 Адіабатний процес. Математичне визначення адіабатного процесу $pv^k = \text{const}$

Визначимо співвідношення параметрів стану $p_2/p_1 = (v_2/v_1)^K; v_2/v_1 = (p_1/p_2)^{1/K}$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{K}{K-1}} \quad \text{робота процесу } l_{1-2} = (p_1 v_1 - p_2 v_2)/(K - 1)$$

або, якщо замінити $p_1 v_1 = R_0 T_1$ та $p_1 v_2 = R_0 T_2$ то

$$l_{1-2} = \frac{R_0(T_1 - T_2)}{K - 1}; \quad l_{1-2} = p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{K-1} \right] / (K - 1)$$

$$l_{1-2} = p_1 v_1 \left[1 - (p_2 - p_1)^{\frac{K-1}{K}} \right] / (K - 1)$$

3-5 Політропний процес. Математичне визначення $pv^n = \text{const}$ співвідношення параметрів стану аналогічні адіабатному процесу, тільки замість показника K , показник n , де n - будь-яке число $0 \leq n \leq \infty$

4 Хід роботи

4.1 З розумінням визначити умову задачі, визначити вихідні дані та невідомі

4.2 Визначені невідомі описати математичним визначенням

4.3 Якщо математичним визначенням невідомі однозначно не визначаються, скласти додаткове рівняння.

4.4 Привести всі значення вихідних даних до однієї системи вимірювань (як правило до системи СІ), визначити невідомі.

4.5 Всі кроки рішення задачі виконувати з поясненням.

5. Приклад. Знайти кількість теплоти, яку необхідно підвести до вуглекислого газу масою 1,2 кг, яка утримується в балоні об'ємом 0,8 м³, Щоб збільшити тиск з 1,0 до 5 бар.

Рішення: процес, який протікає + відповідно умові задачі ізохорний тобто, теплота яка підводиться до тіла йде на зміну тиску.

$Q_{1-2} = m \times C_v(T_2 - T_1)$ де m - маса робочого тіла $m = 1,2$ кг T_2, T_1 - кінцева та початкова температура робочого тіла;

C_v – теплоємність вуглекислого газу, приймаємо постійною і визначається із таблиці, для вуглекислого газу (багатоатомних газів)

$C_{vm} = 29,3$ КД/(кг×К) $C_v = C_{vm}/M = 29,3 / 44 \times 10^{-3} = 0,6658$ КД/(кг × К)

Визначається початкова температура газу в балоні із рівняння стану $p_1 v_1 =$

$= m R_0 T_1$ звідки $T_1 = \frac{p_1 v_1}{m R_0}$ питома газова постійна R_0

Визначається із таблиці , 44 із виразу $R_0 = \frac{R}{M_{CO_2}} = \frac{8,3}{44 \times 10^{-3}} = 188,9 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \times \text{К})}$

$$T_1 = \frac{10^5 \times 0,8}{1,2 \times 188,9} = 359,92$$

Визначається кінцева температура T_2 із співвідношення $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$

$$T_2 = T_1 \times \frac{P_2}{P_1} = 359,92 \times \frac{5}{1} = 1765 \text{ К}$$

Кількість теплоти $Q_{1-2} = m \times C_u(T_2 - T_1) = 1,2 \times 0,6658 (1765 - 359,92) = 1425 \text{ кДЖ}$

5 Задачі , які виносяться на самостійне рішення

Задача 1 Азот масою 0,5 кг розширюється по ізобарі при тиску 0,3 МПа так, що температура його підвищується від 100 до 300°C . Знайти кінцевий об'єм азота, роботу розширення і підведену теплоту.

Задача 2 Азот масою 0,5 кг розширюється по ізобарі при тиску 0,3 МПа так, що температура його підвищується від 100 до 300°C . Знайти кінцевий об'єм азота, роботу розширення і підведену теплоту.

Задача 3 При ізотермічному стисненню 5 м³ азота відводиться 600 кДж теплоти. Визначити роботу стиснення , кінцевий тиск і об'єм V_1 , якщо початковий тиск $p_1 = 0,8$ бар

Приклад . Повітря масою 2 кг при тиску $p_1 = 1$ МПа і температурі $t_1 = 300^\circ\text{C}$ розширюється по адіабаті так, що об'єм газу збільшився в 5 разів . Знайти кінцевий об'єм , тиск , температуру , роботу зміни об'єма і зміну внутрішньої енергії .

Рішення: Знаходиться початковий об'єм газу V_1 із рівняння стану $P_1 V_1 = m R_0 T_1$ $V_1 = \frac{m R_0 T_1}{P_1}$

Питома газова постійна повітря R_0 із довідника $R_0 = 278,1 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \times \text{К})}$ тому

$$V_1 = \frac{2 \times 278,1 \times 573}{1 \times 10^6} = 0,33 \text{ м}^3$$

Відповідно умови $V_2 = 5V_1 = 5 \times 0,33 = 1,65 \text{ м}^3$

Визначається кінцевий тиск із рівняння $P_1/P_2 = (V_2/V_1)^K$

Приймається для повітря значення показника адіабати $K = 1,4$ (як для суміші 2-х атомних газів), тоді $\frac{P_1}{P_2} = 5^{1,4} 9,52$ звідси $P_2 = \frac{P_1}{9,52} = 1 \times \frac{10^6}{9,52} = 0,1$ МПа

Відповідно рівнянням стану $P_2 V_2 = m R_0 T_2$ визначається кінцева температура $T_2 = P_2 V_2 / (m R_0) = 0,1 \times 10^6 \times 1,65 / (2 \times 287,1) = 287$ К
 $t_2 = (287 - 273) = 14^\circ\text{C}$

Визначається робота зміни об'єма із рівняння $L_{1-2} = m \frac{R_0(t_2 - t_1)}{K - 1} =$
 $= 2 \times 287,1 (300 - 14) / (1,4 - 1) = 411 \times 10^3$ Дж

Зміна внутрішньої енергії при адіабатному процесі дорівнює роботі зміни об'єма, тому $V_2 - V_1 = -L_{1-2} = -411$ кДж

6 Висновки

7 Література

А. В. Чернов, Н. К. Бесеребренников Основы теплотехники и гидравлики
издательство «Энергия» М. 1965

О. Н. Брюханов, А. Т. Мелик – Арекелен, В.И. Коробко Основы гидравлики
и теплотехники М. Издательский центр «Академия» 2006