

МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

**ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ
МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ
ГОРІННЯ.**

1. Визначення матеріального балансу

Матеріальний баланс реакції горіння – рівність між кількістю речовин, що вступають у реакцію, та кількістю речовин, що утворюються внаслідок цієї реакції.

Горюча речовина + Окислювач →

Продукти горіння

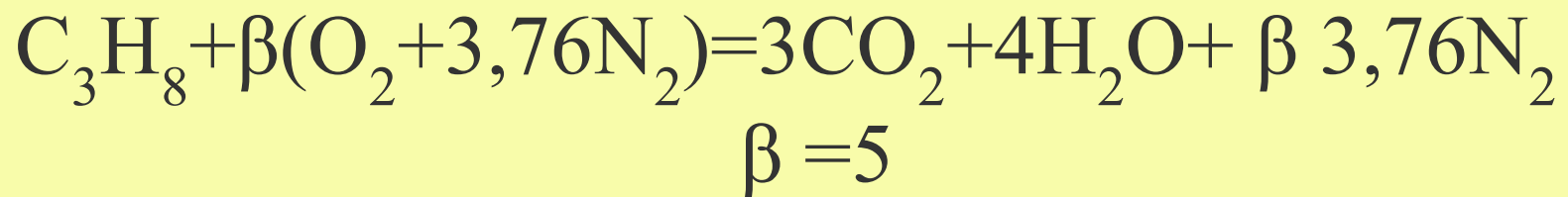
$$\Sigma m_{гс} = \Sigma m_{пг}$$

Узагальнений запис матеріального балансу реакції горіння у повітрі:

$$ГР + \beta \cdot (O_2 + 3,76 N_2) = \Sigma n_i ПГ_i + \beta \cdot 3,76 N_2$$

Горюча суміш, склад якої відповідає рівнянню реакції горіння, називається **стехіометричною**.

Стехіометричний коефіцієнт β показує скільки молей кисню необхідно для повного згорання одного молю горючої речовини.



2. Витрата повітря на горіння

Під час горіння розрізняють **питому** та **повну**, **теоретичну** та **дійсну** кількість повітря.

- **теоретична** - мінімальна кількість повітря для повного згоряння горючої речовини ($n^0_{\text{п}}$, $v^0_{\text{п}}$);
- **дійсна** - кількість повітря, яка витрачається на згоряння горючої речовини за даних умов ($n_{\text{п}}$, $v_{\text{п}}$);
- **питома** - кількість повітря для згоряння одиниці кількості ГР (моль/моль, $\text{м}^3/\text{м}^3$, кг/кг);
- **повна** - кількість повітря для згоряння даної кількості горючої речовини ($n_{\text{п}}$, $v_{\text{п}}$), моль, м^3 , кг.

Різниця між дійсною кількістю повітря для горіння і теоретично необхідною називається надлишком повітря.

$$\Delta n_{\text{п}} = n_{\text{п}} - n^{\circ}_{\text{п}}$$

Коефіцієнт надлишку повітря ($\alpha_{\text{п}}$) показує у скільки разів кількість повітря, що дійсно надходить до зони горіння, відрізняється від теоретично необхідної для повного згоряння горючої речовини.

$$\alpha = \frac{n_{\text{п}}}{n^{\circ}_{\text{п}}}$$

$$\Delta n_{\text{п}} = n_{\text{п}} - n^{\circ}_{\text{п}} = n^{\circ}_{\text{п}} (\alpha - 1)$$

кінетичне горіння

- $\alpha = 1$ - суміш горючої речовини з повітрям є стехіометричною.
- $\alpha < 1$ - суміш багата (нестача окисника і надлишок горючої речовини), утворюються продукти неповного згоряння.
- $\alpha > 1$ - суміш бідна (нестача горючої речовини і надлишок окисника), продукти горіння містять в собі надлишок повітря $\Delta v_{\text{п}}$.

Критичні значення α відповідають сумішам з критичним вмістом кисню та горючої речовини.

$$\alpha_{\text{min (max)}} = \frac{100 - \varphi_{\text{в(н)}}}{v_{\text{п}}^0 \varphi_{\text{в(н)}}}$$

дифузійне горіння

При дифузійному горінні кисень повітря повністю не витрачається.

Полум'яне горіння припиняється за зменшення вмісту кисню у повітрі до $\approx 14\%$.

Гетерогенне горіння може існувати за зменшення вмісту кисню в горючій суміші до 5% .

Коефіцієнт надлишку повітря визначається як відношення відсоткового вмісту кисню у повітрі, яке надійшло, до його залишкового відсоткового вмісту у продуктах горіння (з врахуванням частки, яка прореагувала).

$$\alpha = \frac{21}{21 - \%O_2}$$

3. Продукти горіння.

Дим та його властивості.

Продукти горіння – це газоподібні, тверді та рідкі речовини, що утворюються при взаємодії окисника з горючою речовиною у процесі горіння.

Класифікація продуктів горіння:

•за агрегатним станом

газоподібні рідкі тверді

•за повнотою згоряння

продукти повного згоряння продукти неповного згоряння

•за хімічним складом

хімічно інертні реакційноздатні.

Дим - дисперсна система, що складається з твердих і рідких часток (дисперсної фази), завислих у газовому дисперсійному середовищі.

Властивості диму:

- непрозорість**
- густина задимлення**
- знижена концентрація кисню;**
- токсичність продуктів горіння**
- підвищена температура;**
- можливість утворення вибухонебезпечних концентрацій продуктів неповного згорання.**

4. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ

4.1. Горіння ГОРЮЧОГО ГАЗУ індивідуального складу

1 кмоль газу за даних P і T займає об'єм V_{μ} м³.

$$\frac{PV_{\mu}}{T} = \frac{22,4 \cdot 101,3}{273} \quad V_{\mu} = 22,4 \frac{101,3 \cdot T}{273 \cdot P}$$

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ:

1 кмоль ГР — $n_{\text{п}}^0 = 4,76 \cdot \beta$, кмолів повітря або

$V_{\mu}^{\text{ГР}}$ м³ ГР — $n_{\text{п}}^0 \cdot V_{\mu}^{\text{п}}$, м³ повітря

1 м³ ГР — $v_{\text{п}}^0$, м³ повітря

$$v_{\text{п}}^0 = 4,76 \cdot \beta \cdot V_{\mu}^{\text{п}} / V_{\mu}^{\text{ГР}} \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Якщо ГР і повітря знаходяться за однакових умов, то $V_{\mu}^{GR} = V_{\mu}^{\Pi}$.

питомі об'єми повітря

теоретичний: $v_{\Pi}^0 = \beta \cdot 4,76, \text{ м}^3/\text{м}^3$;

дійсний: $v_{\Pi} = \beta \cdot 4,76 \cdot \alpha_{\Pi}, \text{ м}^3/\text{м}^3$.

При горінні заданої кількості горючого газу $V_{ГГ}, \text{ м}^3$ визначають

повні об'єми повітря

теоретичний: $V_{\Pi}^0 = v_{\Pi}^0 \cdot V_{ГГ}, \text{ м}^3$;

дійсний: $V_{\Pi} = v_{\Pi} \cdot V_{ГГ}, \text{ м}^3$

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ

Якщо ГР і ПГ знаходяться за однакових умов,
то $V_{\mu}^{GR} = V_{\mu}^{PG}$. Тоді

питомі об'єми ПГ

теоретичний : $v_{PG}^0 = \sum n_{PGi}, \text{ м}^3/\text{м}^3;$

дійсний : $v_{PG} = v_{PG}^0 + (\alpha_{PG} - 1)4,76 \beta, \text{ м}^3/\text{м}^3.$

повні об'єми ПГ

теоретичний: $V_{PG}^0 = v_{PG}^0 \cdot V_{г.г.}, \text{ м}^3;$

дійсний: $V_{PG} = v_{PG} \cdot V_{г.г.}, \text{ м}^3$

Під час горіння ПГ мають температуру горіння,
тому відбувається їх температурне розширення

$$V_{п.г.}^{T_{гор}} = \frac{V_{PG}^{T_0} \cdot T_{гор}}{T_0}$$

4.2 Горюча речовина інд. складу у РІДКОМУ АБО ТВЕРДОМУ агрегатному стані

1 кмоль ГР важить μ кг

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ:

$$\begin{aligned} 1 \text{ кмоль ГР} & \quad \text{— } n^0 = 4,76 \cdot \beta, \text{ кмолів повітря або} \\ \mu \text{ кг ГР} & \quad \text{— } n^0 \cdot V_{\mu}^{\text{п}}, \text{ м}^3 \text{ повітря} \\ 1 \text{ кг ГР} & \quad \text{— } v_{\text{п}}^0, \text{ м}^3 \text{ повітря} \end{aligned}$$

питомі об'єми повітря на 1 кг ГР:

$$\begin{aligned} \text{теоретичний,} & \quad v_{\text{п}}^0 = 4,76 \cdot \beta \cdot \frac{V_{\mu}^{\text{п}}}{\mu} \\ \text{дійсний:} & \quad v_{\text{п}} = 4,76 \cdot \beta \cdot \frac{V_{\mu}^{\text{п}}}{\mu} \cdot \alpha \quad \text{м}^3/\text{кг.} \\ & \quad \text{повні об'єми повітря:} \end{aligned}$$

$$\text{теоретичний:} \quad V_{\text{п}}^0 = v_{\text{п}}^0 \cdot m_{\text{ГР}}, \text{ м}^3;$$

$$\text{дійсний:} \quad V_{\text{п}} = v_{\text{п}} \cdot m_{\text{ГР}}, \text{ м}^3$$

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ

$$1 \text{ кмоль ГР} \quad \text{—} \quad n^0_{\text{ПГ}} = \sum n_{\text{ПГ}i}, \text{ кмолів ПГ}$$

$$\mu \text{ кг ГР} \quad \text{—} \quad n^0_{\text{ПГ}} \cdot V_{\mu}^{\text{ПГ}}, \text{ м}^3 \text{ ПГ}$$

$$1 \text{ кг ГР} \quad \text{—} \quad v^0_{\text{ПГ}}, \text{ м}^3 \text{ ПГ}$$

питомі об'єми ПГ на 1 кг ГР

$$\text{теоретичний :} \quad v^0_{\text{ПГ}} = \sum n_{\text{ПГ}i} \cdot V_{\mu}^{\text{ПГ}} / \mu, \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\text{дійсний :} \quad v_{\text{ПГ}} = v^0_{\text{ПГ}} + (\alpha - 1) 4,76 \beta V_{\mu}^{\text{ПГ}} / \mu, \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$V_{\mu}^{\text{ПГ}} = \frac{22,4 \cdot 101,3 \cdot T_{\text{гор}}}{273 \cdot P_{\text{ПГ}}}$$

повні об'єми ПГ

$$\text{теоретичний:} \quad V^0_{\text{ПГ}} = v^0_{\text{ПГ}} \cdot m_{\text{ГР}}, \text{ м}^3;$$

$$\text{дійсний:} \quad V_{\text{ПГ}} = v_{\text{ПГ}} \cdot m_{\text{ГР}}, \text{ м}^3$$

4.3. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ СУМІШІ ГАЗІВ

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ:

питомий теоретичний об'єм:

$$v_{\text{п суміші}}^0 = \sum v_{\text{п і}}^0 \cdot r_i = \sum 4,76 \cdot \beta_i \cdot \phi_i / 100, \text{ м}^3/\text{м}^3$$

якщо присутній кисень

$$v_{\text{п сум}}^0 = 4,76 \sum_{i=1}^n \left(\beta_i \frac{\phi_i}{100} - \frac{\phi_{\text{O}_2}}{100} \right) = \frac{\sum (\beta_i \cdot \phi_i - \phi_{\text{O}_2})}{21}, \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

питомий дійсний: $v_{\text{п сум}} = v_{\text{п сум}}^0 \cdot \alpha, \text{ м}^3/\text{м}^3$

повний теоретичний: $V_{\text{п сум}}^0 = v_{\text{п сум}}^0 \cdot V_{\text{г.сум}}, \text{ м}^3$

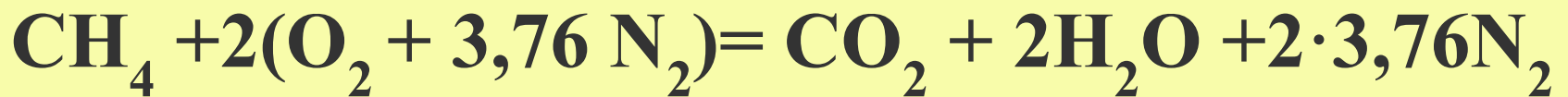
повний дійсний: $V_{\text{п сум}} = v_{\text{п сум}} \cdot V_{\text{г.сум}}, \text{ м}^3$

Визначення об'єму продуктів згоряння суміші газів

Питомий теоретичний об'єм:

$$v_{\text{пг сум}}^0 = \sum v_{\text{пг } i}^0 \cdot r_i, \text{ м}^3/\text{м}^3$$
$$v_{\text{пг}}^0 = \sum n_{\text{пг } i},$$

Так, наприклад, при горінні 1 м³ метану



утворюються 1 м³ CO₂, 2 м³ H₂O та 7,52 м³ N₂

Питомі об'єми продуктів згоряння для деяких газів

Речовина	Об'єм продуктів згоряння, м ³ /м ³			
	CO ₂	H ₂ O	N ₂	SO ₂
Водень-H ₂	---	1,0	1,88	---
Окис вуглецю -CO	1,0	---	1,88	---
Сірководень-H ₂ S	---	1,0	5,64	1,0
Метан-CH ₄	1,0	2,0	7,52	---
Ацетилен-C ₂ H ₂	2,0	1,0	9,4	---
Етан C ₂ H ₆	2,0	3,0	13,16	---
Етилен - C ₂ H ₄	2,0	2,0	11,28	---
Пропан C ₃ H ₈	3,0	4,0	16,8	---
Бутан C ₄ H ₁₀	4,0	5,0	24,4	---
Пентан C ₅ H ₁₂	5,0	6,0	30,08	---

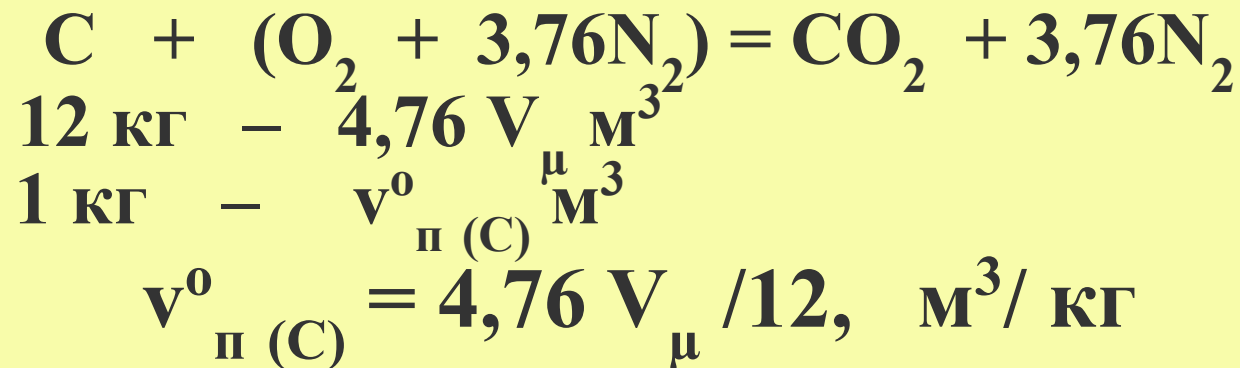
4.4. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПРИ ГОРІННІ СКЛАДНИХ РЕЧОВИН В КОНДЕНСОВАНОМУ СТАНІ

Визначення об'єму повітря:

питомий теоретичний об'єм:

$$v_{\text{п}}^{\circ} = v_{\text{п}(\text{C})}^{\circ} \frac{\text{C}}{100} + v_{\text{п}(\text{S})}^{\circ} \frac{\text{S}}{100} + v_{\text{п}(\text{H})}^{\circ} \frac{\text{H}}{100} - v_{\text{п}(\text{O})}^{\circ} \frac{\text{O}}{100}$$

Реакції горіння окремих елементів (C, H, S).



питомі об'єми повітря для водню і сульфуру

$$v_{\text{п (H)}}^0 = 4,76 \cdot 0,5 \cdot V_{\mu} / 2, \text{ м}^3 / \text{ кг}$$

$$v_{\text{п (S)}}^0 = 4,76 V_{\mu} / 32, \text{ м}^3 / \text{ кг}$$

Підставимо одержані значення $v_{\text{п (i)}}^0$ в рівняння:

$$v_{\text{п}}^0 = \frac{4,76 \cdot V_{\mu}}{4 \cdot 100} \left(\frac{\text{C}}{3} + \text{H} + \frac{\text{S} - \text{O}}{8} \right),$$

де С, О, S, H - масовий % вміст елементів

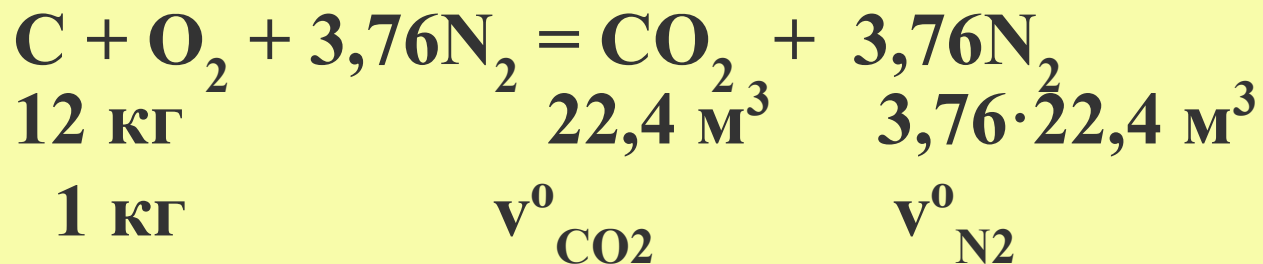
Якщо прийняти, що $V_{\mu} = 22,4 \text{ м}^3 / \text{ кмоль}$

$$v_{\text{п}}^0 = 0,267 \left(\frac{\text{C}}{3} + \text{H} + \frac{\text{S} - \text{O}}{8} \right),$$

Визначення об'єму продуктів горіння

питомий теоретичний об'єм

$$v_{\text{пг}}^0 = \sum_{i=1}^n v_{\text{пгі}}^0 \cdot g_i$$



$$v_{\text{CO}_2}^0 = 22,4/12 = 1,87 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$v_{\text{N}_2}^0 = 3,76 \cdot 22,4/12 = 7,0 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Питомий об'єм продуктів згоряння для деяких елементів

елемент	Об'єм продуктів згоряння, м ³ /кг				
	CO ₂	H ₂ O	N ₂	SO ₂	P ₂ O ₅
Карбон -C	1,87	÷	7,0	÷	÷
Гідроген- H	÷	11,2	21,0	÷	÷
Сульфур - S	÷	÷	2,63	0,7	÷
Фосфор - P	÷	÷	4,7	÷	0,36
Нітроген- N	÷	÷	0,8	÷	÷
Оксиген- O	÷	÷	-2,63	÷	÷
Волога -W	÷	1,24	÷	÷	÷

Завдання на самопідготовку:

1. Демидов, Шандыба, Щеглов:- Горение и свойства горючих веществ, стор. 18-29.
2. Демидов, Саушев. Горение и свойства горючих веществ, стор. 24-42.