

## **ТЕМА 2**

# **МАТЕРІАЛЬНИЙ І ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ**

## **Лекція**

### **ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ**

### **МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ.**

### **РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПРИ ГОРІННІ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ**



# План лекції.

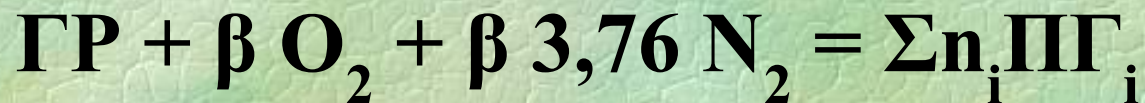
1. Основні поняття матеріального балансу процесу горіння
2. Розрахунок об'єму повітря та продуктів згоряння при горінні індивідуальних речовин.
  - 2.1. Горіння горючого газу індивідуального складу
  - 2.2. Горіння індивідуальних речовин у рідкому або твердому агрегатному стані
3. Розрахунок об'єму повітря та продуктів згоряння при горінні матеріалів складного складу
  - 3.1. Горіння суміші газів.
  - 3.2. Горіння твердих і рідких матеріалів складного складу.



# 1. Основні поняття матеріального балансу процесу горіння

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

Узагальнений запис матеріального балансу реакції горіння в повітрі:



*Стехіометричний коефіцієнт*  $\beta$  показує скільки молів кисню необхідно для повного згоряння одного молю горючої речовини.



Розрізняють *питомі* та *повні, теоретичні* та *дійсні* кількості повітря, що витрачається на згоряння горючої речовини, та продуктів згоряння.

- *питома кількість повітря* - кількість повітря, яка необхідна для згоряння одиниці кількості горючої речовини (1 моль, 1 м<sup>3</sup>, 1 кг);

$$n_{\text{пов}} \text{ [моль/моль]} \quad \text{або} \quad v_{\text{пов}} \text{ [м}^3\text{/м}^3\text{]}, \text{ [м}^3\text{/кг]}$$

- *питома кількість продуктів згоряння* - кількість продуктів горіння, що утворюється при згоряння одиниці кількості горючої речовини (1 моль, 1 м<sup>3</sup>, 1 кг);

$$n_{\text{пр}} \text{ [моль/моль]} \quad \text{або} \quad v_{\text{пр}} \text{ [м}^3\text{/м}^3\text{]}, \text{ [м}^3\text{/кг]}$$

- *повна* кількість повітря - кількість повітря, яка необхідна для згоряння певної кількості горючої речовини;

$$N_{\text{пов}} = n_{\text{пов}} \cdot n_{\text{гр}} \text{ [моль]} \quad \text{або} \quad V_{\text{пов}} = v_{\text{пов}} \cdot v_{\text{гр}} \text{ [м}^3\text{]}$$
$$V_{\text{пов}} = v_{\text{пов}} \cdot m_{\text{гр}} \text{ [м}^3\text{]}$$



- *теоретична* кількість повітря - мінімальна кількість повітря, яка необхідна для повного згоряння горючої речовини ( $n^0_{\text{пов}}, v^0_{\text{пов}}, N^0_{\text{пов}}, V^0_{\text{пов}}$ );
- *дійсна* кількість повітря - кількість повітря, яка витрачається на згоряння горючої речовини за даних умов ( $n_{\text{пов}}, v_{\text{пов}}, N_{\text{пов}}, V_{\text{пов}}$ ).

Різниця між кількістю повітря, що *дійсно* іде на горіння, і *теоретично* необхідною кількістю повітря, називається *надлишком повітря*.

$$\Delta v_{\text{пов}} = v_{\text{пов}} - v^0_{\text{пов}}$$



## ***Коефіцієнт надлишку повітря ( $\alpha$ )***

показує у скільки разів кількість повітря, що дійсно надходить до зони горіння, відрізняється від теоретично необхідної кількості повітря для повного згоряння горючої речовини.

$$\alpha = \frac{V_{\text{пов}}}{V_{\text{пов}}^0} \quad V_{\text{пов}} = \alpha V_{\text{пов}}^0$$

$$\Delta V_{\text{пов}} = V_{\text{пов}} - V_{\text{пов}}^0 = V_{\text{пов}}^0 (\alpha - 1)$$



# кінетичне горіння

- $\alpha = 1$  ( $v_{\text{пов}} = v_{\text{пов}}^0$ ) - суміш ГР з повітрям є *стехіометричною*.
- $\alpha < 1$  ( $v_{\text{пов}} < v_{\text{пов}}^0$ ) - суміш *багата* (надлишок ГР і нестача  $\text{O}_k$ ), утворюються продукти неповного згоряння.

$$\alpha_{\min} = \frac{100 - \varphi_{\text{в}}}{v_{\text{пов}}^0 \varphi_{\text{в}}}$$

$\varphi_{\text{в}}$  - найбільший вміст ГР в суміші з повітрям, за якого *ще* може виникнути горіння;

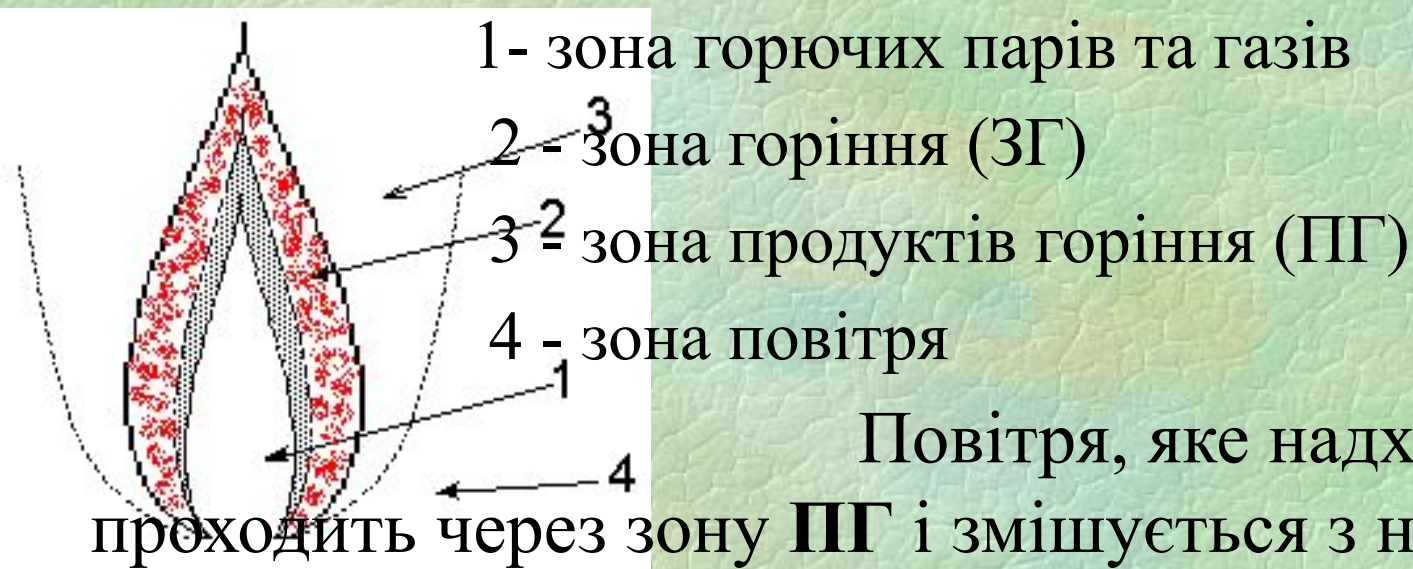
- $\alpha > 1$  ( $v_{\text{пов}} > v_{\text{пов}}^0$ ) - суміш *бідна* (нестача ГР і надлишок  $\text{O}_k$ ), продукти горіння містять в собі надлишок повітря.

$$\alpha_{\max} = \frac{100 - \varphi_{\text{н}}}{v_{\text{пов}}^0 \varphi_{\text{н}}}$$

$\varphi_{\text{н}}$  - найменший вміст ГР в суміші з повітрям, за якого *вже* може виникнути горіння.



# дифузійне горіння



Повітря, яке надходить до ЗГ, проходить через зону ПГ і змішується з ними. Це уповільнює процес дифузії  $O_2$ , швидкість реакції горіння зменшується. Повної витрати кисню під час дифузійного горіння немає.

*Коефіцієнт надлишку повітря* під час дифузійного горіння - відношення вмісту кисню у повітрі до його вмісту, що залишився у продуктах горіння.

$$\alpha_{(\text{диф})} = \frac{21}{21 - \varphi_{O_2(\text{ПГ})}}$$



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

Склад продуктів горіння залежить від складу горючої речовини та умов протікання реакції горіння.

### ***Класифікація продуктів горіння:***

- ***за агрегатним станом***

<i>газоподібні</i>	<i>рідкі</i>	<i>тверді</i>
CO, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH, CH <sub>2</sub> O, смоли	C (сажа), Na <sub>2</sub> O, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

- ***за повнотою згоряння***

<i>повного згоряння</i>	<i>неповного згоряння</i>
CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, HCl, Na <sub>2</sub> O	CO, H <sub>2</sub> S, CH <sub>2</sub> O, смоли, C (сажа)

- ***за реакційною спроможністю***

<i>хімічно інертні</i>	<i>реакційноздатні</i>
CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O	продукти неповного згоряння (CO, CH <sub>2</sub> O, C), HCl, SO <sub>2</sub>



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

*Небезпека диму обумовлена:*

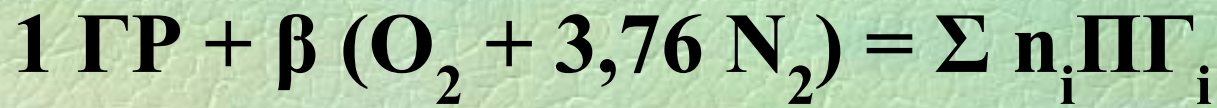
- непрозорість (обумовлена присутністю твердих продуктів горіння)
- знижена концентрація кисню ( $\varphi_{кр} < 14\%$ );
- підвищена температура ( $t_{кр} = 70^{\circ}\text{C}$ );
- можливість утворення вибухонебезпечних концентрацій продуктів неповного згорання;
- токсичність продуктів горіння

*Середньосмертельна концентрація диму  $L_{50}$  -*  
вміст диму, що викликає загибель 50 %  
піддослідних тварин при заданій експозиції.



**2. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ ТА  
ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ  
ПРИ ГОРІННІ РЕЧОВИН  
ІНДИВІДУАЛЬНОГО СКЛАДУ**





питоме теоретичне число молів

повітря:  $n_{\text{пов}}^0 = (1+3,76) \cdot \beta = 4,76 \cdot \beta$ , моль/моль;

продуктів горіння:

$$n_{\text{ПГ}}^0 = \Sigma n_{\text{ПГ}_i}, \text{ моль/моль};$$

питоме дійсне число молів

повітря:  $n_{\text{пов}} = n_{\text{пов}}^0 \cdot \alpha$ , моль/ моль

продуктів горіння:

$$n_{\text{ПГ}} = n_{\text{ПГ}}^0 + \Delta n_{\text{пов}}^0 = n_{\text{ПГ}}^0 + (\alpha - 1) n_{\text{пов}}^0 \text{ моль/ моль}$$



## 2.1. ГОРІННЯ ГАЗУ ІНДИВІДУАЛЬНОГО СКЛАДУ

1 кмоль газу за даних  $P$  і  $T$  займає об'єм  $V_{\mu}$  м<sup>3</sup>.

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

*Визначення об'єму повітря:*

1 кмоль ГР —  $n^0_{\text{пов}} = 4,76 \cdot \beta$ , кмолів повітря

$V_{\mu}^{\text{ГР}}$  м<sup>3</sup> ГР —  $n^0_{\text{пов}} \cdot V_{\mu}^{\text{пов}}$ , м<sup>3</sup> повітря

1 м<sup>3</sup> ГР —  $v^0_{\text{пов}}$ , м<sup>3</sup> повітря

$$v^0_{\text{пов}} = \frac{4,76 \cdot \beta \cdot v_{\mu}^{\text{пов}}}{v_{\mu}^{\text{гр}}}$$



Якщо ГР і повітря знаходяться за однакових умов,

$$\text{то } v_{\mu}^{\text{ГР}} = v_{\mu}^{\text{пов.}}$$

*питомі об'єми повітря*

*теоретичний:*  $v_{\text{пов.}}^0 = 4,76\beta, \text{ м}^3/\text{м}^3;$

*дійсний:*  $v_{\text{пов.}} = 4,76\beta \cdot \alpha, \text{ м}^3/\text{м}^3$

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

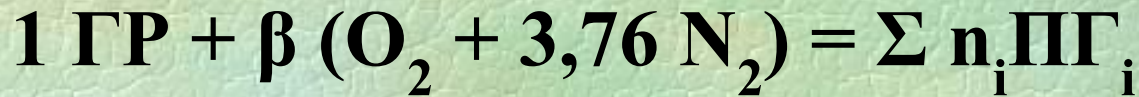
*повні об'єми повітря*

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

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



## *Визначення об'єму продуктів горіння*



$$1 \text{ кмоль ГР} \quad \text{—} \quad n_{\text{ПГ}}^0 = \sum n_{\text{ПГ}_i} \text{ кмолів ПГ}$$

$$V_{\mu}^{\text{ГР}} \text{ м}^3 \text{ ГР} \quad \text{—} \quad n_{\text{ПГ}}^0 V_{\mu}^{\text{ПГ}}, \text{ м}^3 \text{ ПГ}$$

$$1 \text{ м}^3 \text{ ГР} \quad \text{—} \quad v_{\text{ПГ}}^0, \text{ м}^3 \text{ ПГ}$$

$$v_{\text{ПГ}}^0 = \frac{\sum n_{\text{ПГ}_i} \cdot V_{\mu}^{\text{ПГ}}}{V_{\mu}^{\text{ГР}}}, \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Якщо ГР і ПГ знаходяться за однакових умов, то  $v_{\mu}^{\text{ГР}} = v_{\mu}^{\text{ПГ}}$

*питомі об'єми ПГ*

*теоретичний :*  $v_{\text{ПГ}}^0 = \sum n_{\text{ПГ}_i}, \text{ м}^3/\text{м}^3$

*дійсний :*  $v_{\text{ПГ}} = v_{\text{ПГ}}^0 + \Delta v_{\text{пов}} = \sum n_{\text{ПГ}_i} + (\alpha - 1)4,76 \cdot \beta, \text{ м}^3/\text{м}^3$



Під час горіння ПГ мають підвищену температуру (температуру горіння), при цьому відбувається їх розширення:

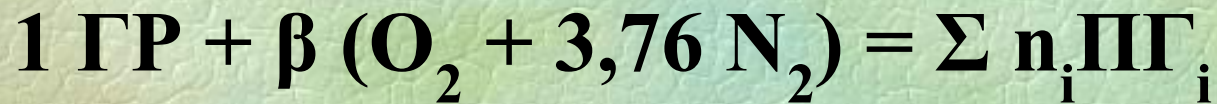
$$V_{\text{ПГ}}^{T_{\text{гор}}} = V_{\text{ПГ}}^{T_0} \frac{T_{\text{гор}}}{T_0}$$



## 2.2. ГОРЮЧА РЕЧОВИНА ІНДИВІДУАЛЬНОГО СКЛАДУ У КОНДЕНСОВАНОМУ СТАНІ

1 кмоль ГР важить  $\mu$  кг

*Визначення об'єму повітря*



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

$\mu$  кг ГР —  $n_{\text{пов}}^0 \cdot V_{\mu}^{\text{пов}}$ , м<sup>3</sup> повітря

1 кг ГР —  $v_{\text{пов}}^0$ , м<sup>3</sup> повітря



*питомі об'єми повітря:*

*теоретичний* 
$$V_{\text{ПОВ}}^0 = 4,76\beta \frac{V_{\text{ПОВ}}}{\mu} \text{ м}^3/\text{кг};$$

*дійсний :* 
$$V_{\text{ПОВ}} = \alpha 4,76\beta \frac{V_{\text{ПОВ}}}{\mu} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

*повні об'єми повітря:*

*теоретичний* 
$$V_{\text{ПОВ}}^0 = v_{\text{ПОВ}}^0 \cdot m_{\text{ГР}}, \text{ м}^3;$$

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



# *Визначення об'єму продуктів горіння*

1 кмоль ГР — , кмолів ПГ

$\mu$  кг ГР —

$$n_{\text{ПГ}}^0 = \sum n_{\text{ПГ},i}$$

1 кг ГР —

$$n_{\text{ПГ}}^0 V_{\text{ПГ}}^0$$

$$V_{\text{ПГ}}^0$$

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



**питомий теоретичний об'єм ПГ:**

$$v_{\text{ПГ}}^0 = \frac{v_{\mu}^{\text{ПГ}}}{\mu_{\text{ГР}}} \sum n_{\text{ПГ}_i}, \text{ м}^3/\text{кг},$$

**питомий дійсний об'єм ПГ:**

$$v_{\text{ПГ}} = v_{\text{ПГ}}^0 + (\alpha - 1) v_{\text{пов}}^0, \text{ м}^3/\text{кг}$$

**повний теоретичний об'єм ПГ**

$$V_{\text{ПГ}}^0 = v_{\text{ПГ}}^0 \cdot m_{\text{гр}}, \text{ м}^3;$$

**повний дійсний об'єм ПГ**

$$V_{\text{ПГ}} = v_{\text{ПГ}} \cdot m_{\text{гр}}, \text{ м}^3$$



**3. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ  
ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ  
ПРИ ГОРІННІ МАТЕРІАЛІВ  
СКЛАДНОГО СКЛАДУ**



### 3.1. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ СУМІШІ ГАЗІВ

*Визначення об'єму повітря:*

*питомий теоретичний:*  $v_{\text{пов сум}}^{\square} = \sum_i v_{\text{пов}_i}^{\square} \cdot r_i, \text{м}^3/\text{м}^3$

$$v_{\text{пов сум}}^0 = \sum_i \left( 4,76 \beta_i \cdot \frac{\varphi_i}{100} \right) = \frac{4,76}{100} \sum_i (\beta_i \varphi_i)$$

**якщо присутній кисень:**

$$v_{\text{пов сум}}^0 = \frac{4,76}{100} \left( \sum_i (\beta_i \varphi_i) - \varphi_{\text{O}_2} \right) = \frac{\sum_i (\beta_i \varphi_i) - \varphi_{\text{O}_2}}{21}$$



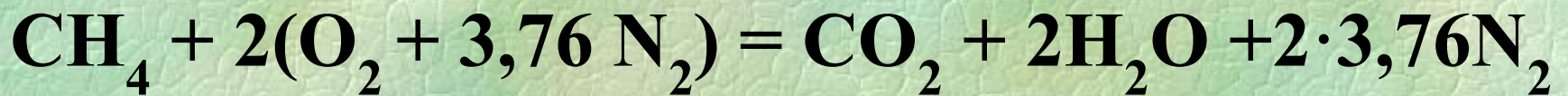
# Визначення об'єму продуктів згоряння

*Питомий теоретичний:*

$$v_{\text{пг сум}}^{\circ} = \sum_i v_{\text{пг}_i}^{\circ} \cdot r_i \qquad v_{\text{пг}}^{\circ} = \sum n_{\text{пг}_i}, \text{ м}^3$$

Негорючі компоненти вихідної суміші переходять у продукти горіння.

При горінні 1 м<sup>3</sup> метану



утворюються

1 м<sup>3</sup> **CO<sub>2</sub>**,      2 м<sup>3</sup> **H<sub>2</sub>O**      та      7,52 м<sup>3</sup> **N<sub>2</sub>**



# Питомі об'єми продуктів згоряння деяких газів

Найменування речовин	Об'єм продуктів згоряння, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>			
	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>H<sub>2</sub>O</i>	<i>N<sub>2</sub></i>	<i>SO<sub>2</sub></i>
Водень- <b>H<sub>2</sub></b>	÷	<b>1.0</b>	<b>1.88</b>	÷
Оксид вуглецю - <b>CO</b>	<b>1.0</b>	÷	<b>1.88</b>	÷
Сірководень- <b>H<sub>2</sub>S</b>	÷	<b>1.0</b>	<b>5.64</b>	<b>1.0</b>
<b>Метан-CH<sub>4</sub></b>	<b>1.0</b>	<b>2.0</b>	<b>7.52</b>	÷
Ацетілен- <b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b>	<b>2.0</b>	<b>1.0</b>	<b>9.4</b>	÷
Етан - <b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	<b>2.0</b>	<b>3.0</b>	<b>13.16</b>	÷
Етилен - <b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>	<b>11.28</b>	÷
Пропан - <b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	<b>3.0</b>	<b>4.0</b>	<b>16.8</b>	÷
Бутан - <b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	<b>4.0</b>	<b>5.0</b>	<b>24.4</b>	÷
Пентан - <b>C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	<b>5.0</b>	<b>6.0</b>	<b>30.08</b>	÷



Визначення  $v_{\text{сум}}^0$  використанням таблиці зводиться до перемноження об'ємних часток компонентів  $r_i$  на відповідні коефіцієнти таблиці з наступним їхнім додаванням по колонках.



*питомий дійсний:*

об'єм повітря  $V_{\text{пов сум}} = \alpha M^{\delta/M^3} V_{\text{пов сум}}$

об'єм ПГ  $V_{\text{пг сум}} = V_{\text{пг сум}}^0 + (\alpha - 1) V_{\text{пов сум}}^0$

*повний теоретичний:*

об'єм повітря  $V_{\text{пов}}^0 = V_{\text{пов сум}}^0 \cdot V_{\text{сум}}^0 M^3$

об'єм ПГ  $V_{\text{пг}}^0 = V_{\text{пг сум}}^0 M^3 \cdot V_{\text{сум}}^0$

*повний дійсний:*

об'єм повітря  $V_{\text{пов}} = V_{\text{пов сум}} M^3 \cdot V_{\text{сум}}$

об'єм ПГ  $V_{\text{пг}} = V_{\text{пг сум}} M^3 \cdot V_{\text{сум}}$



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

*Визначення об'єму повітря:*

питомий теоретичний  $v_{\text{повскл}}^0 = \sum_i v_{\text{пов}i}^0 \cdot g_i$

Загальний об'єм повітря складається із об'ємів повітря, що витрачається на горіння кожного елемента, за вирахуванням кількості повітря, що відповідає кількості кисню в речовині.

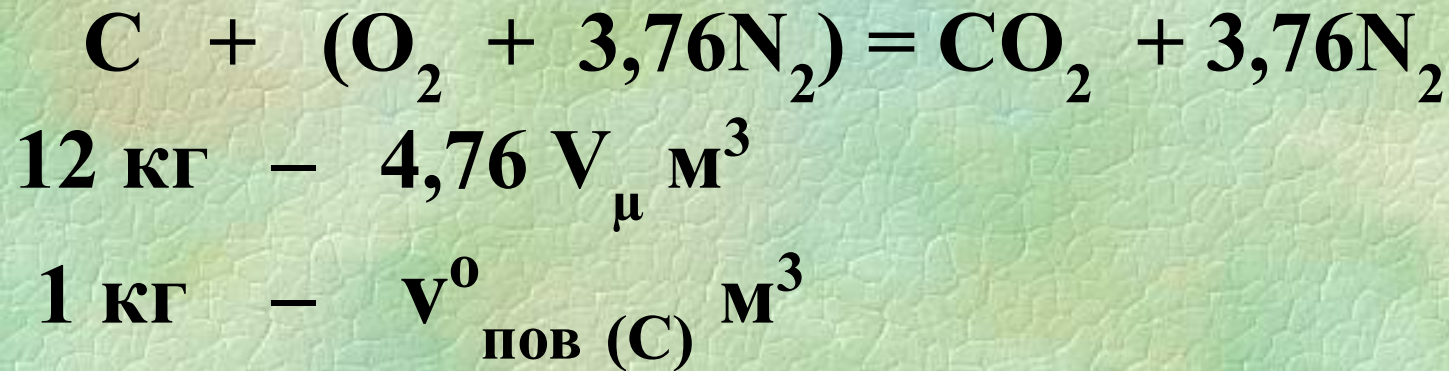
$$v_{\text{повскл}}^0 = v_{\text{пов(C)}}^0 \frac{\varphi_C}{100} + v_{\text{пов(S)}}^0 \frac{\varphi_S}{100} + v_{\text{пов(H)}}^0 \frac{\varphi_H}{100} - v_{\text{пов(O)}}^0 \frac{\varphi_O}{100}$$



**1 кмоль кисню (32кг) міститься в 4,76 кмольх повітря (4,76V<sub>μ</sub> м<sup>3</sup>), тоді 1 кг кисню відповідає об'єму повітря:**

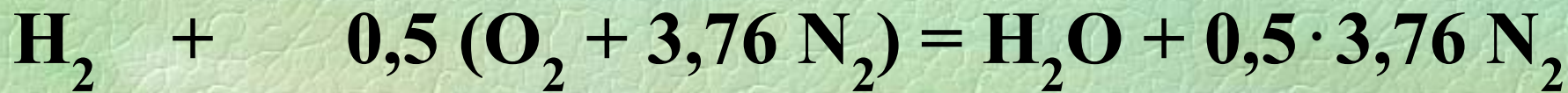
$$V_{\text{пов(O)}}^0, \text{ м}^3/\text{кг} = \frac{4,76V_{\mu}}{32}$$

**Реакції горіння елементів речовини (C, H, S).**



$$V_{\text{пов(C)}}^0, \text{ м}^3/\text{кг} = \frac{4,76V_{\mu}}{12}$$





$$2 \text{ кг} \text{ — } 0,5 \cdot 4,76 V_{\mu} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ кг} \text{ — } V_{\text{пов(H)}}^0$$

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



$$32 \text{ кг} \text{ — } 4,76 V_{\mu} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ кг} \text{ — } V_{\text{пов(S)}}^0$$

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



$$V_{\text{повскл}}^{\boxtimes} = \frac{4,76 V_{\mu}}{100} \left( \sum_i \frac{\varphi_i \beta_i}{\mu_i} - \frac{\varphi_O}{32} \right), \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Якщо ГР складається з С, Н, О, S, то

$$V_{\text{повскл}}^{\circ} = \frac{4,76 \cdot V_{\mu}}{4 \cdot 100} \left( \frac{\varphi_C^{\text{м}^3/\text{кг.}}}{3} + \varphi_H + \frac{\varphi_S - \varphi_O}{8} \right),$$

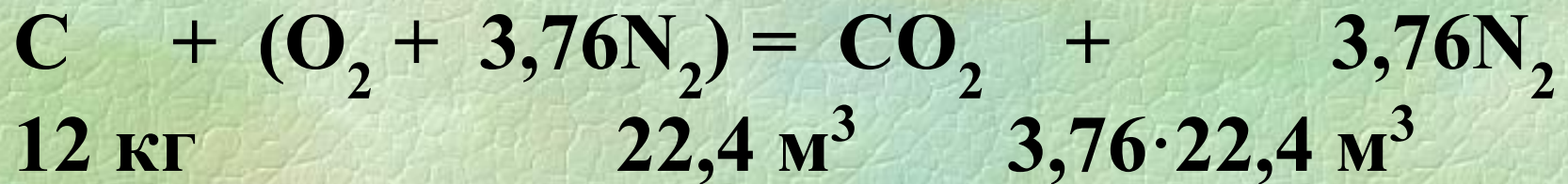
Якщо прийняти, що  $V_{\mu} = 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$

$$V_{\text{повскл}}^{\circ} = 0,267 \left( \frac{\varphi_C}{3} + \varphi_H + \frac{\varphi_S - \varphi_O}{8} \right), \text{ м}^3/\text{кг.}$$



# Визначення об'єму продуктів горіння

питомий теоретичний  $v_{\text{пг скл}}^0 = \sum_i v_{\text{пг } i}^0 g_i$



1 кг                       $v_{\text{CO}_2}^0$                        $v_{\text{N}_2}^0$

$$v_{\text{CO}_2}^0 = \frac{22,4}{12} = 1,88 \text{ м}^3/\text{кг}$$

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



Якщо в ГР міститься кисень, то повітря для горіння знадобиться менше. Це означає, що до зони реакції, а потім і в ПГ надійде менше азоту.

В повітрі на 1 кмоль кисню (32 кг) приходиться 3,76 кмоль або  $3,76V_{\mu}$  м<sup>3</sup> азоту, тоді наявність 1 кг кисню зменшує об'єм азоту в ПГ на величину:

$$V_{\text{ПГ}}^{\text{O}}(\text{N}_2) = \frac{3,76V_{\mu}}{32}, \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Якщо в складі ГР міститися нітроген та волога, то при горінні вони переходять у газоподібні ПГ. Об'єм 1 кг азоту і пари води за нормальних умов дорівнює:

$$V_{\text{ПГ}}^{\text{O}}(\text{N}_2) = \frac{V_{\mu}}{28}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}; \quad V_{\text{ПГ}}^{\text{O}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{V_{\mu}}{18}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$



# Питомий об'єм продуктів горіння елементів

$$v_{\text{пг}_i}^0 = \frac{V_{\mu}}{\mu_i} \beta_i, \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}.$$

Хімічний елемент	Об'єм продуктів згоряння, м <sup>3</sup> /кг				
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Карбон <i>C</i>	1,88	—	7,0	—	—
Гідроген <i>H</i>	—	11,2	21,0	—	—
Сульфур <i>S</i>	—	—	2,63	0,7	—
Фосфор <i>P</i>	—	—	4,7	—	0,36
Нітроген <i>N</i>	—	—	0,8	—	—
Оксиген <i>O</i>	—	—	-2,63	—	—
Волога <i>W</i>	—	1,24	—	—	—



Визначення  $\nu_{\text{ПГ}}^{\text{скл}}$  використанням таблиці зводиться до перемноження масових часток компонентів  $g_i$  на відповідні коефіцієнти таблиці з наступним їхнім додаванням по колонках.



*питомий дійсний:*

об'єм повітря  $V_{\text{пов скл}} = \alpha m_{\text{пов скл}}^{\theta/M^3}$

об'єм ПГ  $V_{\text{пг скл}} = V_{\text{пг скл}}^0 + (\alpha - 1) V_{\text{пов скл}}^0$

*повний теоретичний:*

об'єм повітря  $V_{\text{пов}}^0 = V_{\text{пов скл}}^0 \cdot m_{\text{гр}}, M^3$

об'єм ПГ  $V_{\text{пг}}^0 = V_{\text{пг скл}}^0 \cdot M^3 \cdot m_{\text{гр}}$

*повний дійсний:*

об'єм повітря  $V_{\text{пов}} = V_{\text{пов скл}} \cdot M^3 \cdot m_{\text{гр}}$

об'єм ПГ  $V_{\text{пг}} = V_{\text{пг скл}} \cdot M^3 \cdot m_{\text{гр}}$



# **Завдання на самопідготовку:**

Вивчити матеріал

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