

**Розділ 2**  
**Виникнення процесів горіння**  
**Тема 3**  
**Горючі системи**

**ЛЕКЦІЯ**  
**КОНЦЕНТРАЦІЙНІ МЕЖІ**  
**ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я**

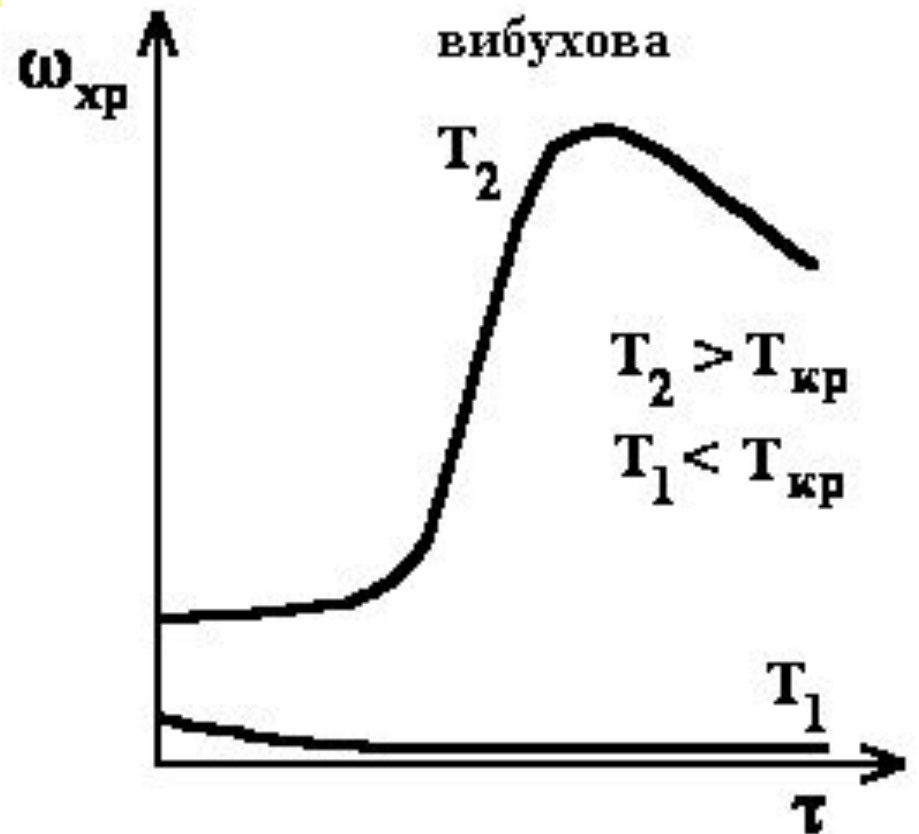
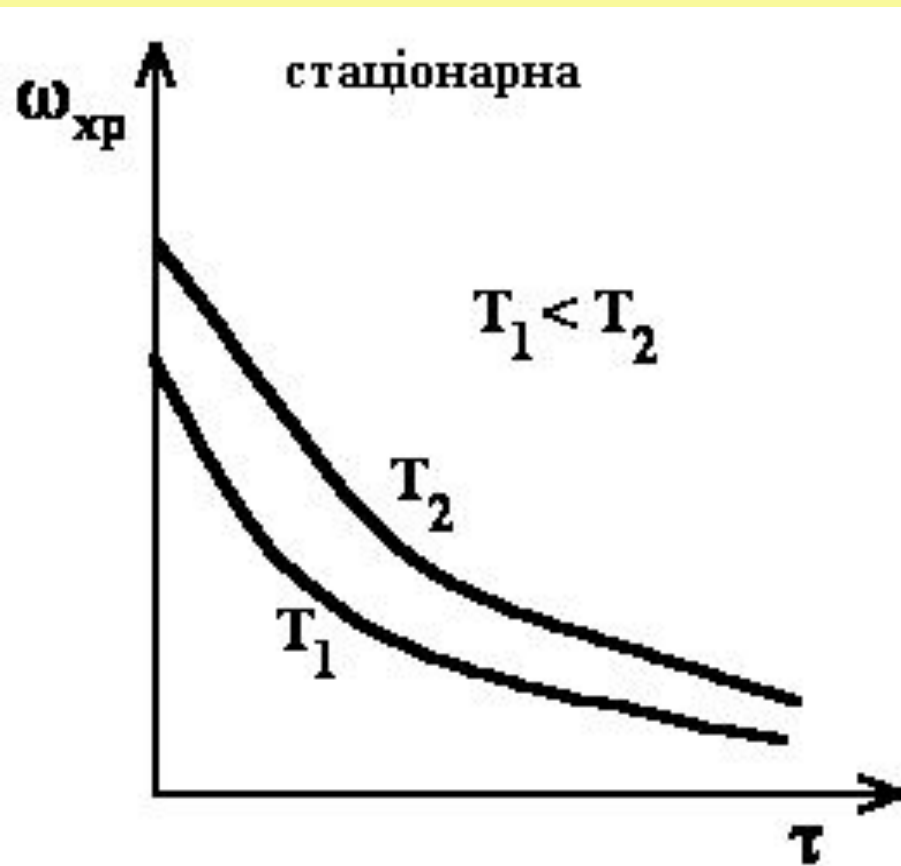
# План лекції

Вступ

1. Виникнення процесу горіння
2. Умови утворення горючого середовища
3. Чинники, що впливають на концентраційні межі поширення полум'я
4. Методи визначення КМПП
5. Практичне значення КМПП

Завдання на самопідготовку

# 1. Виникнення процесу горіння



**Виникнення горіння** - перехід від повільної реакції окислення до миттєвого перетворення, в результаті самоприскорення реакції

# 1.1 Теорії поширення полум'я

**Ланцюгова теорія.** Поширення горіння відбувається через утворення активних центрів полум'я АЦП.

$$W_{\text{ланц.реакц.}} = W_0 + (W_f - W_g)$$

швидкість початкового ініціювання молекул ( $W_0$ ),  
швидкість розгалуження ( $W_f$ )  
швидкість обриву ланцюгів ( $W_g$ ).

**Теплова теорія.** Поширення горіння відбувається за умов перевищення інтенсивності тепловиділення в зоні реакції над інтенсивністю тепловіддачі в навколишнє середовище

Інтенсивність тепловиділення:  $q(+)=Q_{\Gamma} V_{\Gamma c} \omega_{xp}$

$$\omega_{xp} = k \varphi_{ок} \varphi_{гр} \exp(-E_{акт}/(RT))$$

Інтенсивність тепловіддачі:

$$q(-) = \alpha_{к} S(T-T_0) + \sigma \varepsilon S (T^4 - T_0^4).$$

## **2. Умови утворення горючого середовища**

**Горючим є середовище, яке здатне самотійно горіти після усунення джерела запалення.**

**Запобігання вибухів здійснюється шляхом:**

1. Виключення виникнення джерел запалювання;
2. Виключення можливості утворення горючих систем, шляхом регулювання складу газоповітряної суміші;
3. Використання інженерно-технічних рішень (встановлення вогнеперешкоджувачів) в разі неможливості виконання п.1,2.

# Поняття концентраційних меж поширення полум'я КМПП

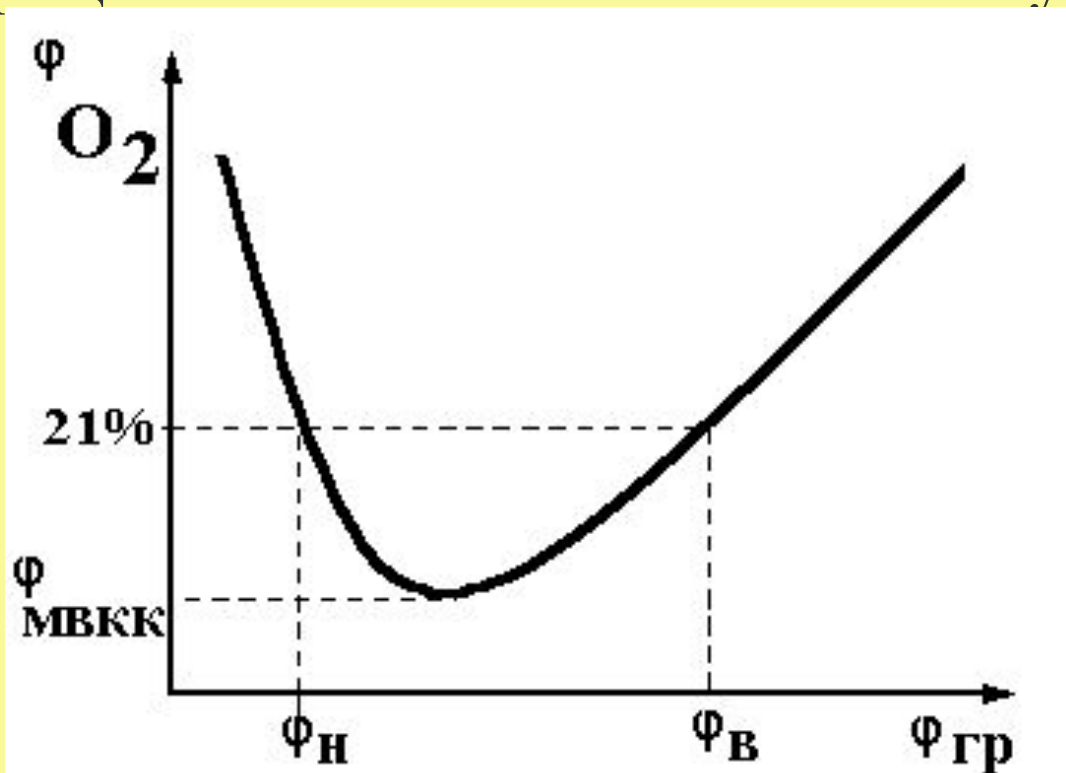
**НКМПП - найменша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, за якої вже можливе виникнення та поширення горіння ( $\phi_{\text{н}}$ )**

**ВКМПП - найбільша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, за якої ще можливе виникнення та поширення горіння ( $\phi_{\text{в}}$ )**

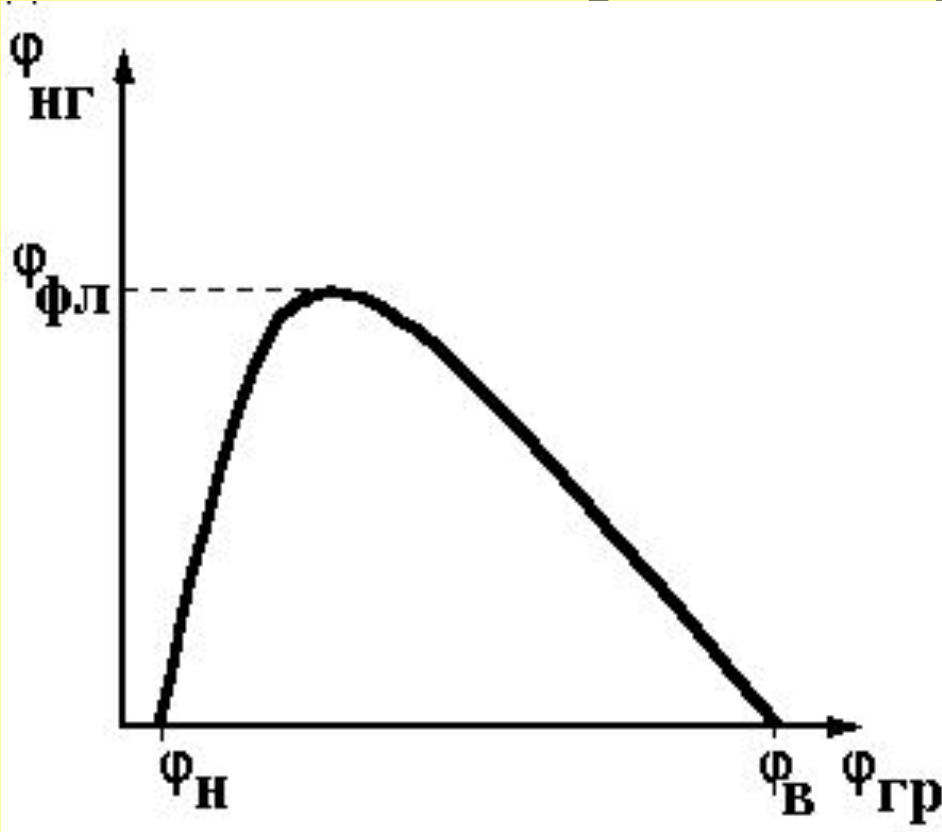
### 3. Чинники, що впливають на концентраційні межі поширення полум'я

- чинники, зміна яких призводить до збільшення тепловиділення  $q(+)$  , розширюють область КМПП
- чинники, зміна яких призводить до збільшення тепловіддачі  $q(-)$  , звужують область КМПП

#### Концентрація кисню в окиснювальному середовищі



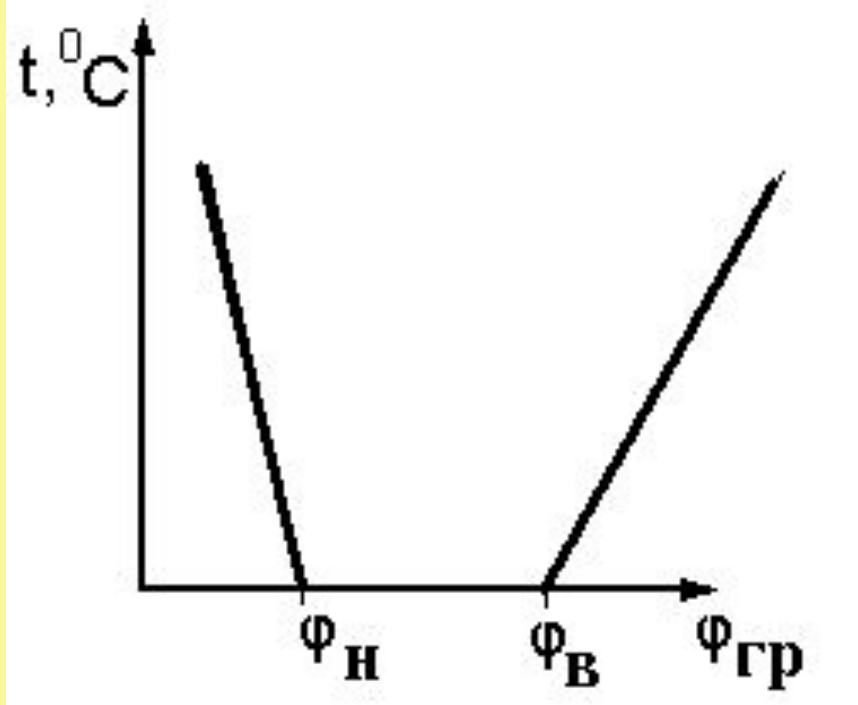
# Концентрація негорючих газів



$\phi_{фл}$  - флегматизуюча концентрація, мінімальна концентрація негорючого газу, за якої неможливе виникнення та поширення горіння



# Початкова температура суміші

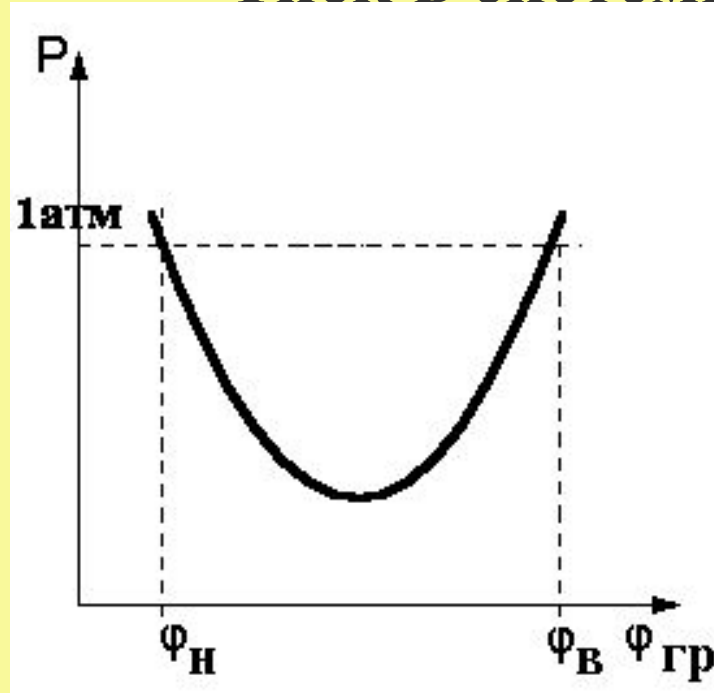


Вплив температури на КМПП враховується рівнянням:

$$\varphi_{\text{н(в)}}^t = \varphi_{\text{н(в)}}^0 \left( 1 - \frac{t - 25}{z} \right)$$

де  $z$  - температурний коефіцієнт, для НКМПП 1250,  
для ВКМПП 800.

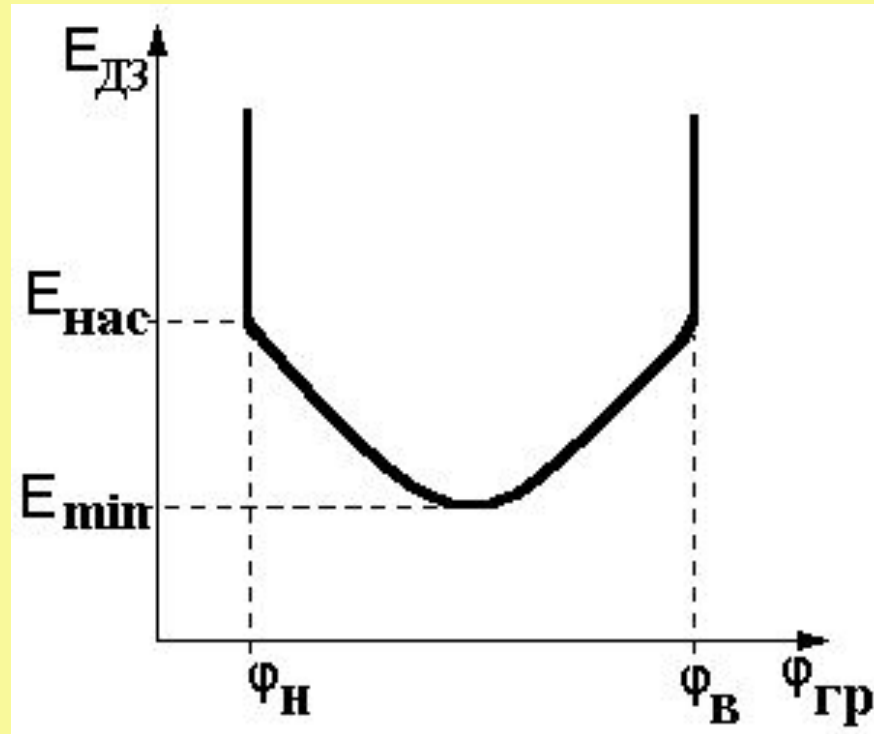
## Тиск в системі



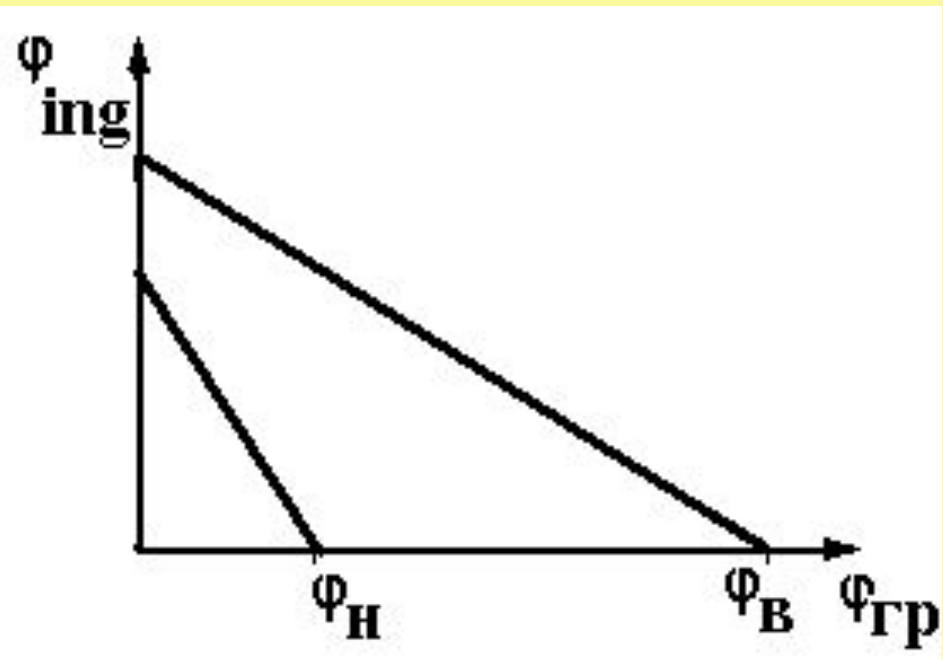
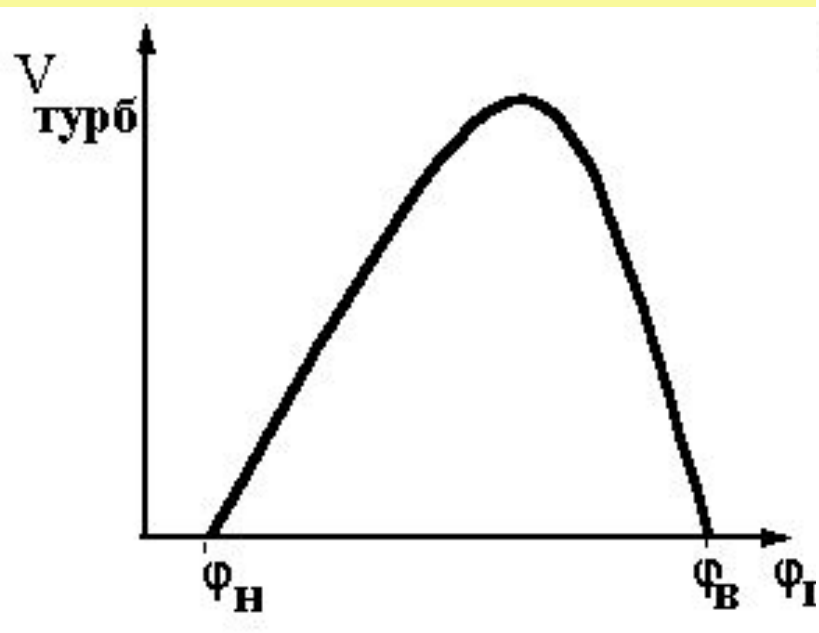
Зі збільшенням тиску суміші відбувається зменшення міжмолекулярних відстаней, що приводить до збільшення швидкості хімічних реакцій.

$$\omega_{\text{хр}} \sim [\text{к}j_{\text{гр}}]^n [\text{к}j_{\text{ок}}]^m, \quad \text{де } k = p_2/p_1$$

# Потужність джерела запалювання



# Турбулентність газової суміші, наявність каталізаторів і інгібіторів



# Визначення ступеня небезпеки газових сумішей:



**БК** - область безпечних концентрацій  
**НК** - область небезпечних концентрацій  
**ВНК** - область вибухонебезпечних концентрацій  
**ПНК** - область вибухобезпечних пожежонебезпечних концентрацій

$$\varphi_{\text{Нб}}^0 = 0,9(\varphi_{\text{Н}}^0 - 0,21), \quad \%$$

$$\varphi_{\text{Вб}}^0 = 1,1(\varphi_{\text{В}}^0 + 0,42), \quad \%$$

Умови безпечної експлуатації при роботі з газовими і паровими сумішами наступні:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{факт}}^0 &\leq \varphi_{\text{Нб}}^0 \\ \varphi_{\text{факт}}^0 &\geq \varphi_{\text{Вб}}^0 \end{aligned}$$

## 4. Методи визначення КМПШ

**Експериментальні.** Для них характерно, що концентрації за яких можливе виникнення горіння, не співпадають з концентраціями за яких відбувається поширення полум'я.

**Розрахункові.**

1. З урахуванням величини мінімальної енергії, необхідної для підтримки процесу горіння. Для більшості газів вуглеводнів становить  $1830 \text{ кДж/м}^3$ .

$$\varphi_{\text{H}}^0 = 100 \frac{Q_{\text{кр}}^{\prime\prime}}{Q_{\text{H}}^{\prime\prime}} = \frac{183000}{Q_{\text{H}}^{\prime\prime}}, \text{ \%}.$$

## 2. За складом горючої речовини

$$\varphi_{\text{H}}^0 = \frac{100}{1 + h_{\text{f}} \Delta H_{\text{f}}^0 + \sum_{j=1}^n h_j m_j}, \%$$

де  $h_{\text{f}}$  - параметр теплоти утворення газу, моль·кДж<sup>-1</sup>;  
 $H_{\text{f}}^0$  - теплота утворення речовини, кДж· моль<sup>-1</sup>;  
 $h_j$  - параметр  $j$ -го елемента в молекулі  
горючої речовини, моль·кДж<sup>-1</sup>;  
 $m_j$  - число атомів  $j$ -го елемента в молекулі  
горючої речовини.

$h_{\text{f}}$	$h_j$				
	$h_{\text{C}}$	$h_{\text{H}}$	$h_{\text{O}}$	$h_{\text{N}}$	$h_{\text{Cl}}$
0,0246	9,134	2,612	-0,522	-0,494	-3,57

3. За емпіричною формулою:

$$\varphi_{\text{H}(\text{в})}^0 = \frac{100}{a\beta + b}, \%$$

де  $\beta$  - стехіометричний коефіцієнт реакції горіння;  
 $a, b$  - константи, для нижньої і верхньої КМПП:

НКМПП		a	b
		8,684	4,679
ВКМПП	$\beta \leq 7,5$	1,550	0,560
	$\beta > 7,5$	0,768	6,554



4. За структурою горючої речовини:

$$\varphi_{H(B)}^0 = \frac{100}{\sum_{s=1}^s h_s \cdot l_s}, \%$$

де  $h_s$  - вклад  $s$ -тої структурної групи,

$l_s$  - кількість  $s$ -тих структурних груп у хімічній формулі речовини.

Вид структурної групи	$h_s$	
	НКМПП	ВКМПП
C-C	3,75	-0,84
C-H	4,47	1,39
C-O	0,90	-1,40
C=O	3,12	1,31

Для перерахунку об'ємної концентрації у масову можна користуватися формулою:

$$\varphi'_{\text{H(в)}} = 10 \varphi_{\text{H(в)}}^0 \frac{\mu}{V_{\mu}}, \quad \text{г/м}^3$$

$V_{\mu}$  - молярний об'єм газу,  $\text{м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$\mu$  - молярна маса горючої речовини,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

Для сумішей горючих газів концентраційні межі розраховують за принципом Ле Шательє,

$$\varphi_{\text{H(в)}}^0 = \frac{\sum \varphi_i^0}{\sum \frac{\varphi_i^0}{\varphi_{\text{H(в)}}^0}}, \%$$

де  $\varphi_{\text{м.і}}$  - нижня або верхня КМПП кожного і-го горючого компонента,

$\varphi_i$  - процентний вміст і-го компонента в суміші.

## 5. ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ КМПШ

1. Для порівняльної оцінки пожежної небезпеки речовин
2. Для оцінки пожежної небезпеки фактичної концентрації
3. Для визначення вибухобезпечних концентрацій парів і газів
4. Для розрахунку гранично допустимих (вибухобезпечних) концентрацій газів

# Завдання на самопідготовку

1. Демидов,. Шандыба, Щеглов. – Горение и свойства горючих веществ. с. 85-104.
2. Демидов, Саушев. - Горение и свойства горючих веществ. с. 152-181.