

# **Розділ II. ВИНИКНЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ**

## **Тема 3. ГОРЮЧІ СИСТЕМИ.**

### **Лекція 7**

## **КОНЦЕНТРАЦІЙНІ МЕЖІ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я.**



# План лекції

1. Умови виникнення горіння
2. Умови утворення горючого середовища.
3. Чинники, що впливають на КМПП
4. Практичне значення КМПП



# 1. Умови виникнення горіння

*Виникнення горіння* - це швидкий перехід від повільної реакції до миттєвої у наслідок її самоприскорення реакції зі спалахом та звуковим ефектом.

Для виникнення горіння необхідна наявність *горючої системи* – суміші горючої речовини та окисника у певному співвідношенні. За умови накопичення в такій системі *тепла* або *активних центрів* і виникає горіння (тепловий або ланцюговий механізм виникнення горіння).



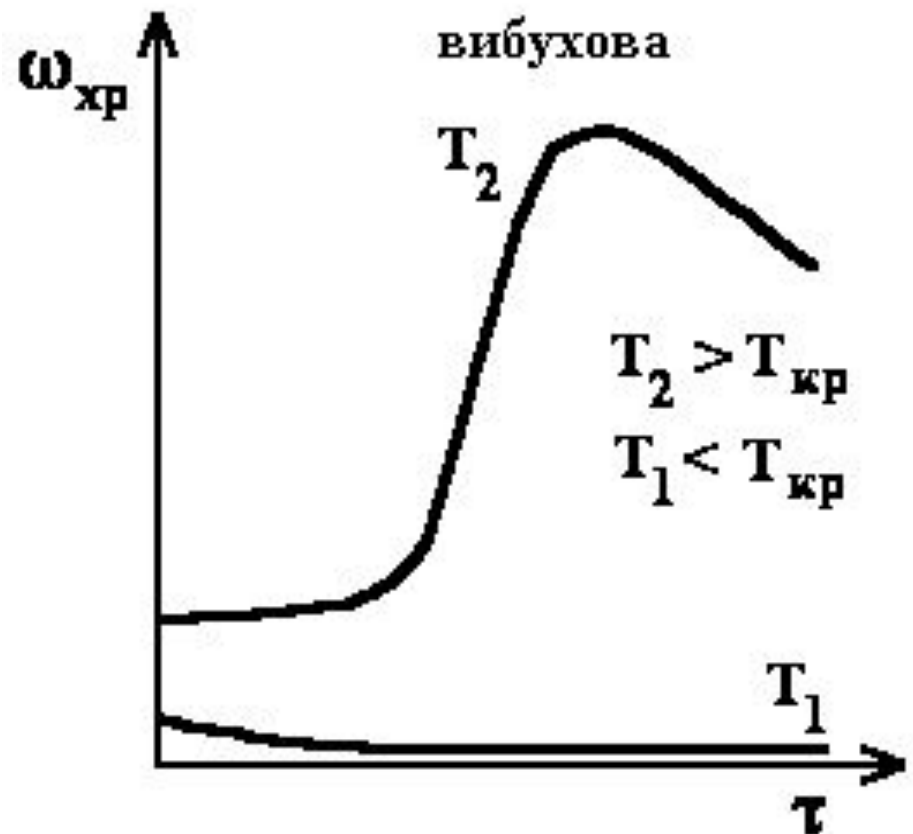
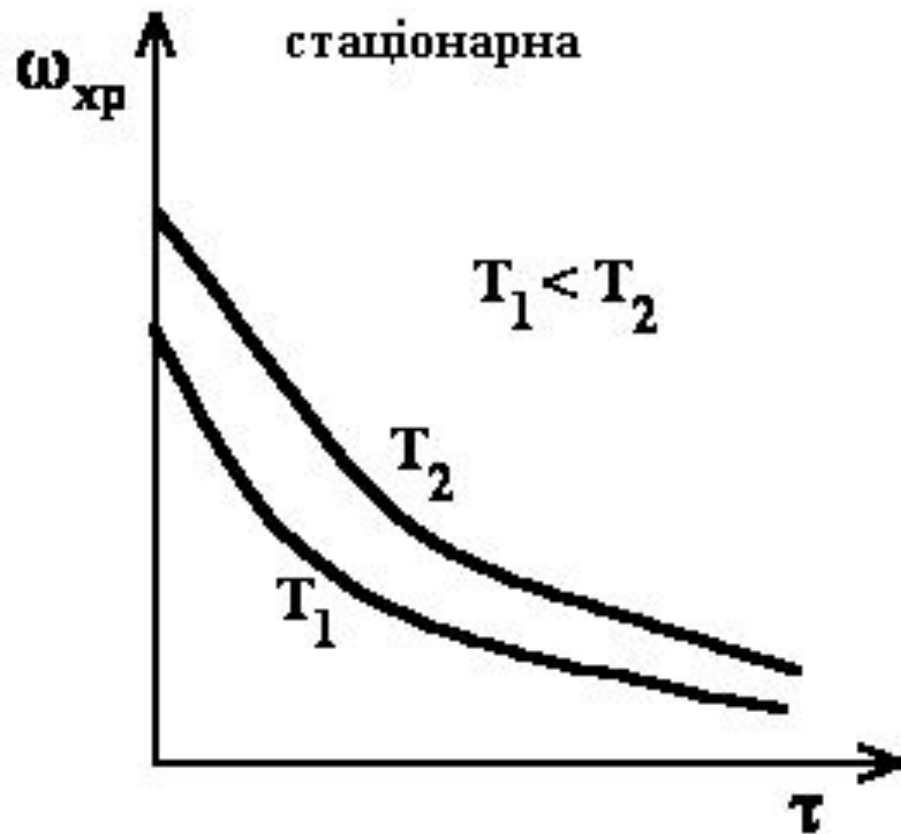
Особливістю горіння є те, що швидкість хімічної реакції збільшується не зважаючи на зменшення концентрації реагуючих речовин.

Це має місце тому, що прискорення реакції внаслідок *підвищення температури* може дати більший вплив ніж зменшення в ході реакції концентрацій реагентів (за законом Арреніуса).

$$\omega_{\text{хр}} = \phi_{\text{гр}}^n \phi_{\text{ок}}^m k_0 \exp(-E_{\text{акт}}/RT).$$

Ланцюгова теорія пояснює прискорення реакції горіння лавиноподібним накопиченням активних центрів.

# Відмінність вибухової реакції від стаціонарної



Після перевищення температури критичного значення швидкість вибухової реакції змінюється стрибкоподібно.



***Інтенсивність тепловиділення реакції:***

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

Поява різниці температур між системою та навколишнім середовищем викликає віддачу тепла шляхом конвекції з ***інтенсивністю***:

$$q(-) = \alpha S (T - T_0).$$

Якщо  $q(-) > q(+)$  - зона реакції охолоджується, реакція окиснення гальмується;

$q(-) < q(+)$  - зона реакції нагрівається, реакція окиснення прискорюється.

Період часу з початку самовільного зростання температури горючої системи до моменту виникнення горіння називається ***періодом*** або ***часом індукції***.



Розрізняють три види виникнення горіння:

**Самоспалахування** — виникнення горіння всієї горючої системи водночас під впливом зовнішнього нагріву до критичної температури.

**Самозаймання** — виникнення горіння внаслідок накопичення тепла внутрішніх екзотермічних процесів в горючій системі.

**Вимушене запалювання** — виникнення горіння внаслідок дії високотемпературного джерела запалювання на малу частку горючої системи.



## *Загальні ознаки процесу виникнення горіння:*

- наявність горючої системи: горючої речовини та окисника у певному співвідношенні;
- температура системи більша за критичну;
- тепловиділення в горючій системі  $q(+)$  перевищує тепловіддачу  $q(-)$  в навколишнє середовище;
- перехід від повільної реакції до вибухоподібної відбувається за період індукції.



**2. Умови утворення горючого середовища**  
*Горючим є середовище, здатне самотійно горіти після усунення джерела запалювання.*

***2.1. Поняття концентраційних меж поширення полум'я (КМПП)***

За законом Ареніуса, якщо концентрація одного з компонентів горючої суміші ( $\phi_{\text{гр}}$  або  $\phi_{\text{ок}}$ ) стане менше критичного значення, швидкість реакції зменшується на стільки, що інтенсивність тепловиділення  $q(+)$  стане меншою, ніж інтенсивність тепловтрат  $q(-)$ , зона реакції охолоджується, горіння не виникає або припиняється. Тобто умова  $q(-)=q(+)$  є критичною для виникнення горіння.



## ГР + ОК



**НКМПП ( $\Phi_H$ )** - найменша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, при якій *вже* можливе виникнення та поширення горіння.

**ВКМПП ( $\Phi_B$ )** - найбільша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, при якій *ще* можливе виникнення та поширення горіння.



## 2.2. Методи визначення КМПП

1. НКМПП розраховують, виходячи з нижчої теплоти згоряння ГР:

$$\begin{aligned} Q_{\text{н}} &- 100\% \\ Q_{\text{кр}} &- \varphi_{\text{н}} \% \end{aligned} \quad \varphi_{\text{н}}^0 = 100 \frac{Q_{\text{кр}}^{\text{//}}}{Q_{\text{н}}^{\text{//}}} = \frac{183000}{Q_{\text{н}}^{\text{//}}}, \%$$

2. НКМПП розраховують, виходячи зі складу ГР:

$$\varphi_{\text{н}}^0 = \frac{100}{1 + h_f \Delta H_f^0 + \sum_j h_j m_j}, \%$$

де  $h_f = 0,0246$  - параметр теплоти утворення ГР;

$H_f^0$  - стандартна теплота утворення ГР;

$h_j$  - параметр  $j$ -го елемента в молекулі ГР;

$m_j$  - число атомів  $j$ -го елемента в молекулі ГР.



### 3. За емпіричною формулою

$$\Phi_{H(V)}^o = \frac{100}{a\beta + b}, \%$$

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

### 4. За структурною будовою горючої речовини

$$\Phi_{H(V)}^o = \frac{100}{\sum h_s I_s}, \%$$

| Вид 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  |

де  $h_s$  - вклад s-ої структурної групи,  
 $I_s$  - число s-их структурних груп у будові ГР.



## 5. КМПП суміші горючих газів

Правило Ле-Шательє: багатокomпонентна система, яка складається із декількох бінарних сумішей граничного складу, взятих у довільному співвідношенні, також є граничною.

$$\varphi_{\text{H(В)}_{\text{сум}}}^0 = \frac{\sum \varphi_i^0}{\sum \frac{\varphi_i^0}{\varphi_{\text{H(В)}_i}^0}}, \%$$

де  $\varphi_{\text{H(В)}_i}^0$  - нижня або верхня КМПП і-го горючого компонента,

$\varphi_i^0$  - процентний вміст і-го компонента в суміші.



Склад суміші:  $\text{CH}_4$  – 30%;  $\text{C}_2\text{H}_4$  – 70%.

$$\phi_{\text{H}}^{\circ} \text{CH}_4 = 5,3\%; \quad \phi_{\text{H}}^{\circ} \text{C}_2\text{H}_4 = 2,7\%$$

$$\phi_{\text{H}_{\text{сум}}}^{\circ} = \frac{30 + 70}{\frac{30}{5,3} + \frac{70}{2,7}} = 3,16\%$$

Для перерахунку об'ємної концентрації  $\phi^{\circ}$  у масову  $\phi'$  та назад можна користуватися формулою:

$$\phi' = 10\phi^{\circ} \frac{\mu}{V_{\mu}}, \quad \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$$



### 3. Чинники, що впливають на КМПП

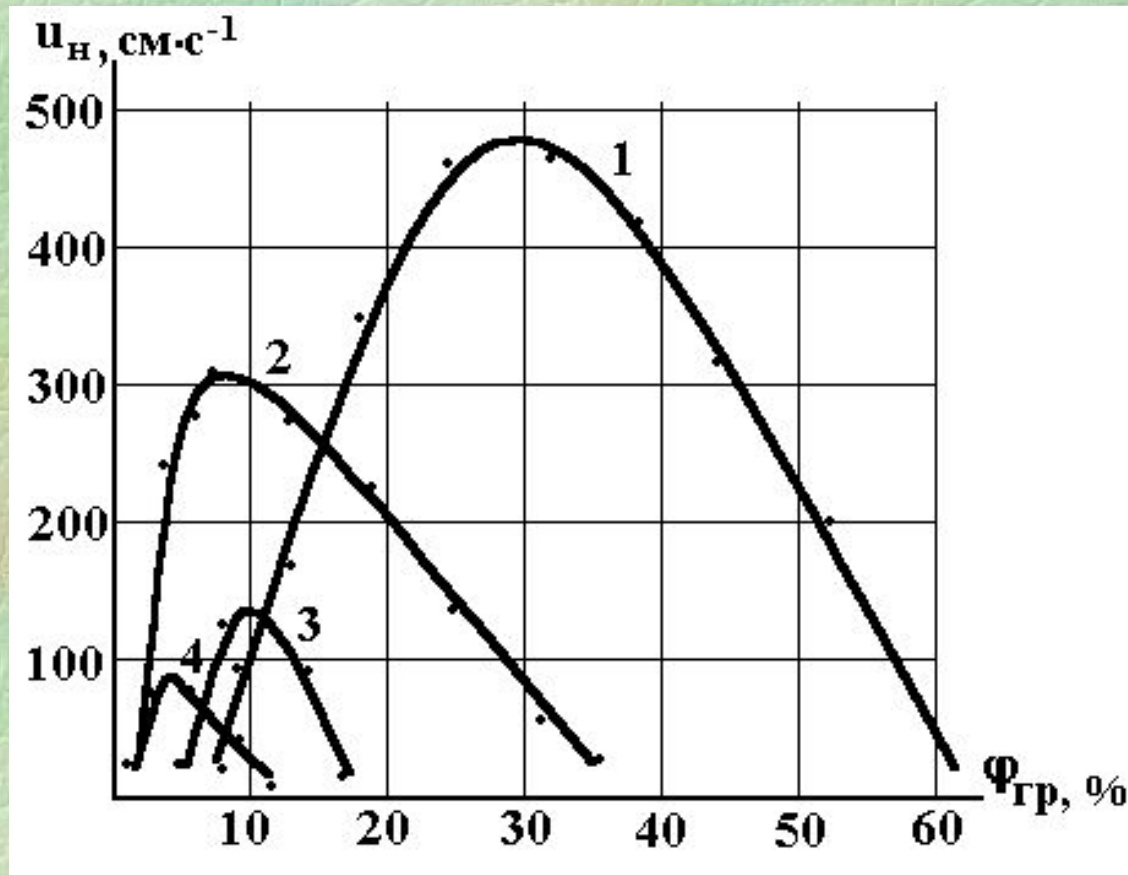
Чинники, які збільшують тепловиділення в системі  $q(+)\uparrow$ , розширюють КМПП ( $\phi_n\downarrow, \phi_v\uparrow$ ), а чинники, які збільшують тепловтрати від системи в навколишнє середовище  $q(-)\uparrow$ , звужують область запалювання ( $\phi_n\uparrow, \phi_v\downarrow$ ) аж до неможливості горіння.

Найбільший вплив на зміну КМПП мають:

- 1) вид горючої речовини;
- 2) склад горючої суміші:
  - ✓концентрації кисню в окислювальному середовищі;
  - ✓домішки негорючих газів;
  - ✓добавки каталізаторів або інгібіторів.
- 3) умови, в яких знаходиться суміш:
  - ✓температура і тиск системи;
  - ✓міра турбулізації газового потоку;
  - ✓потужність впливу ДЗ.



При збільшенні молекулярної маси вуглеводнів концентраційні межі звужуються.

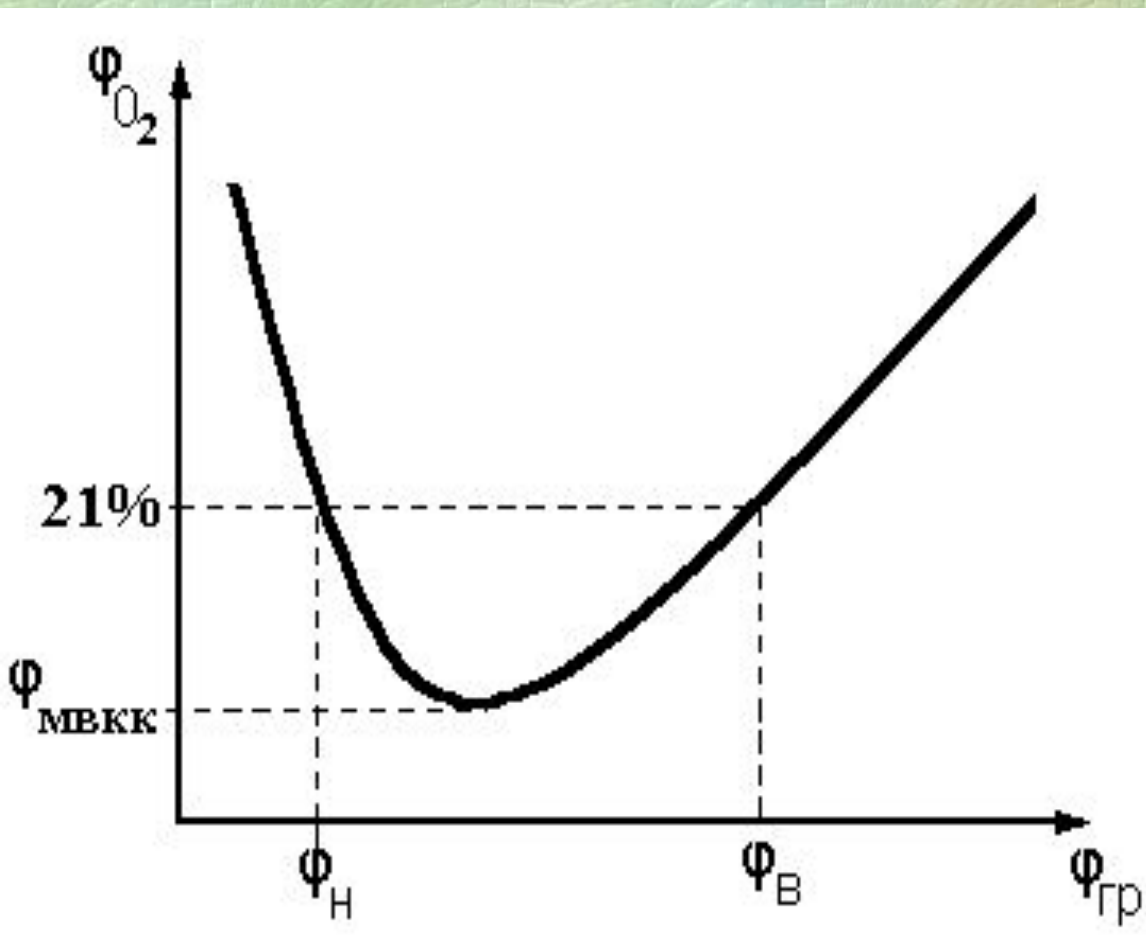


1 – водень, 2 – ацетилен, 3 – етилен, 4 – пентан



# *Концентрація кисню в окислювальному середовищі*

$$\varphi_{\text{O}_2} \uparrow \quad \omega_{\text{xp}} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad \varphi_{\text{H}} \downarrow \quad \varphi_{\text{B}} \uparrow$$



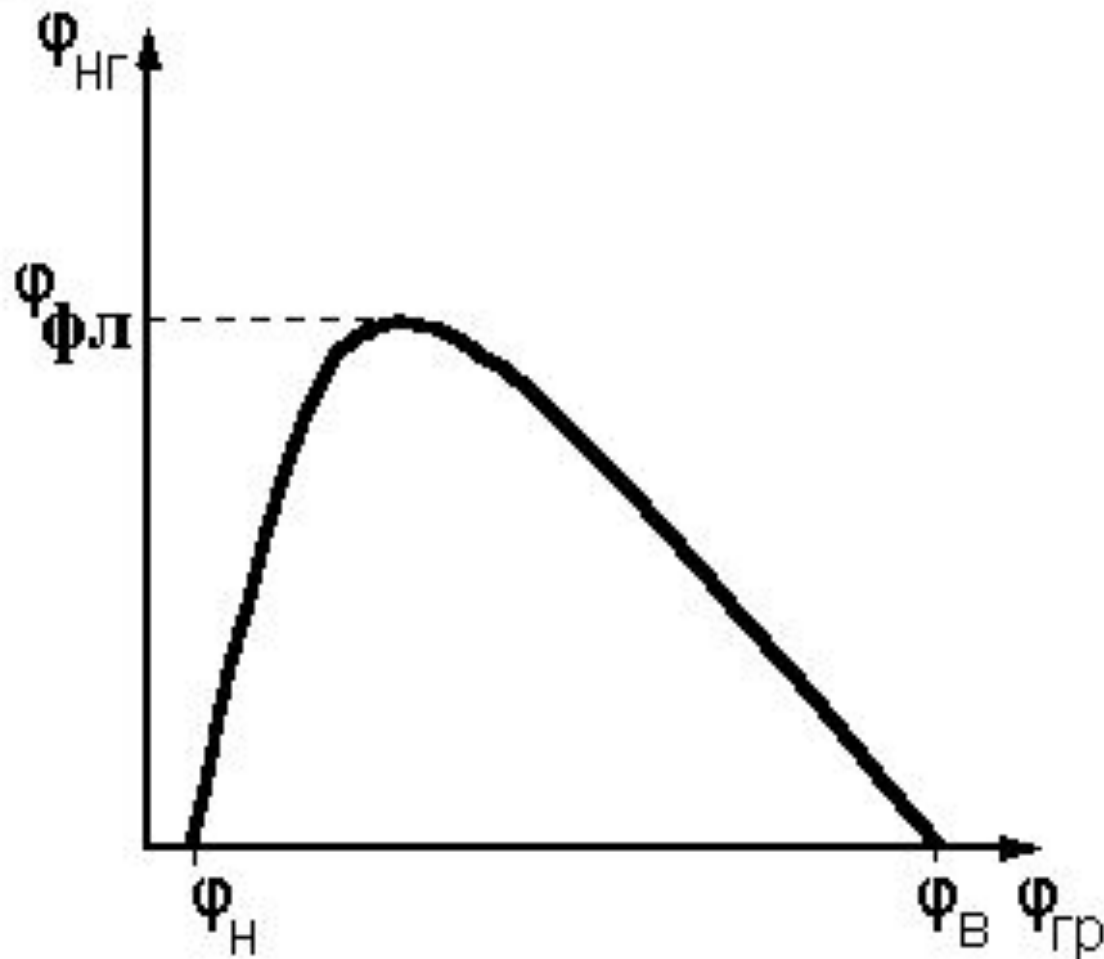
**існує критична**

**мінімальна  
вибухонебезпечна  
концентрація  
кисню**



# *Концентрація негорючих домішок в газовій суміші*

$$\varphi_{\text{нг}} \uparrow \quad \omega_{\text{хр}} \downarrow \quad q(+)\downarrow \quad \varphi_{\text{н}} \uparrow \quad \varphi_{\text{в}} \downarrow$$



юча  
дія НГ

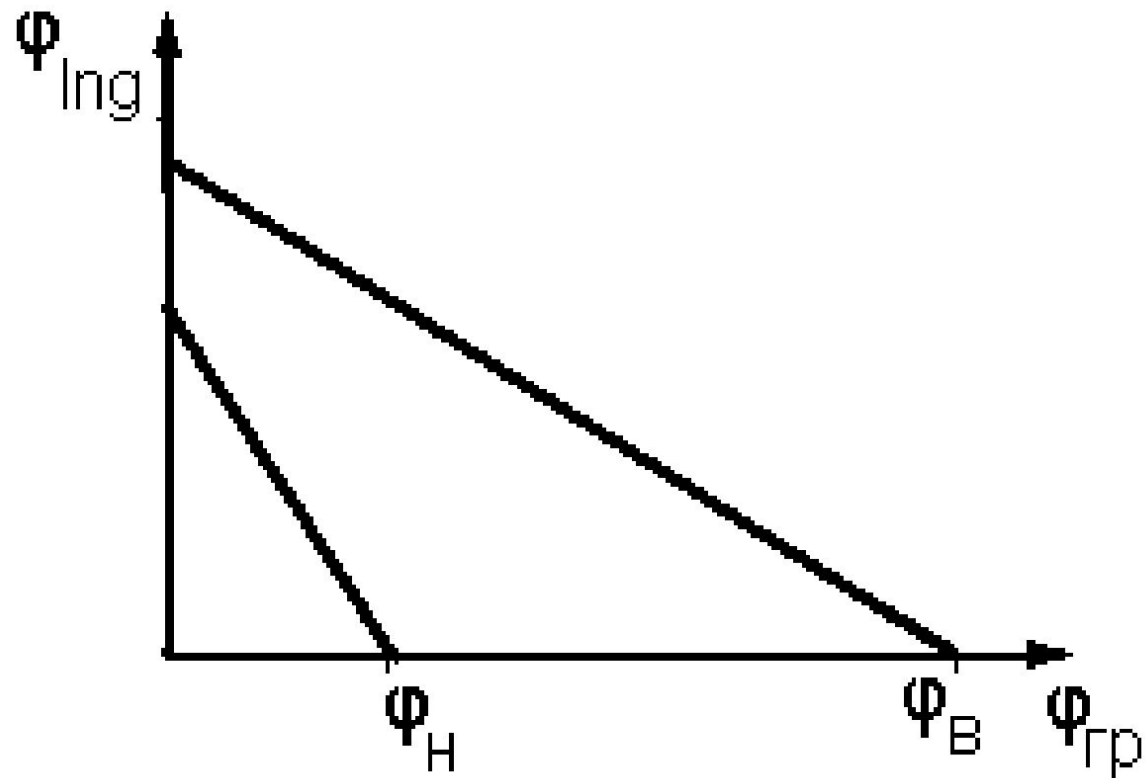


# *Вплив хімічно-активних домішок*

$\varphi_{\text{кат}} \uparrow$   $\omega_{\text{хр}} \uparrow$   $q(+)\uparrow$   $\varphi_{\text{н}} \downarrow$   $\varphi_{\text{в}} \uparrow$

$\varphi_{\text{инг}} \uparrow$   $\omega_{\text{хр}} \downarrow$   $q(+)\downarrow$   $\varphi_{\text{н}} \uparrow$   $\varphi_{\text{в}} \downarrow$

*Якщо інгібітор є горючою речовиною:*

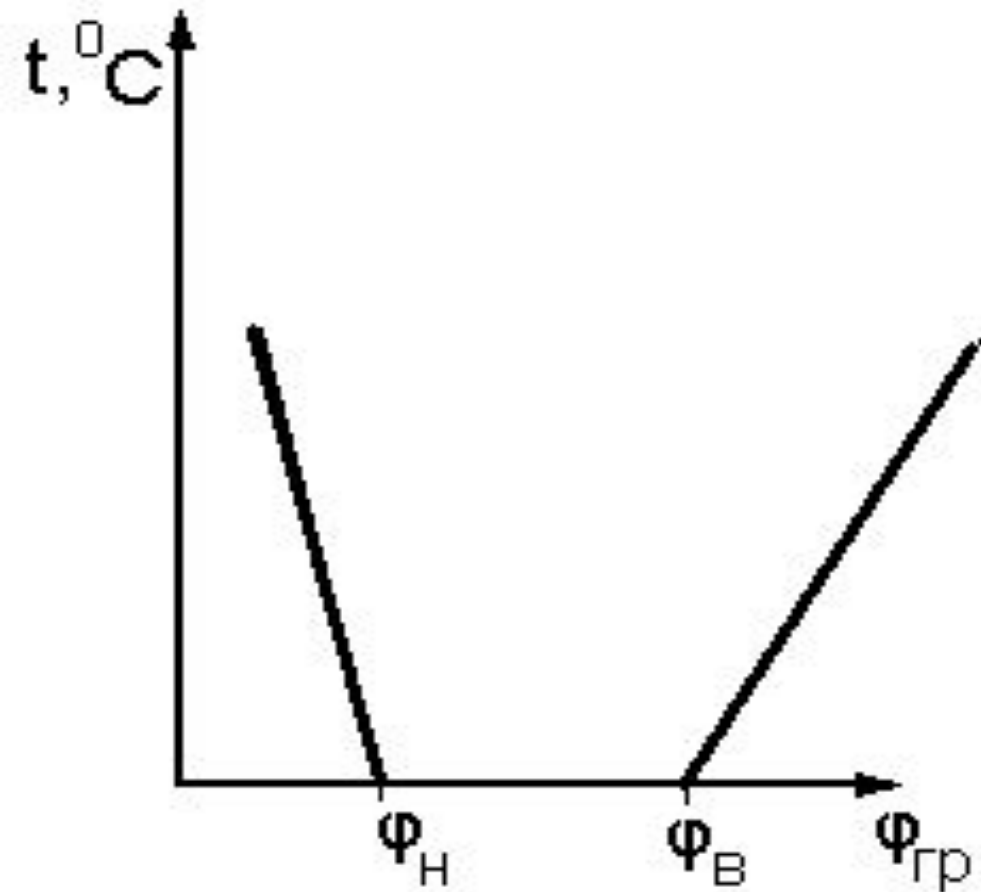




# *Вплив початкової температури*

$$T \uparrow \quad \omega_{xp} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad \varphi_H \downarrow \quad \varphi_B \uparrow$$

$$\varphi_{H(B)}^t = \varphi_{H(B)}^o \left( 1 - \frac{t - 25}{z} \right)$$



ратурний

,

$I z = 1250,$

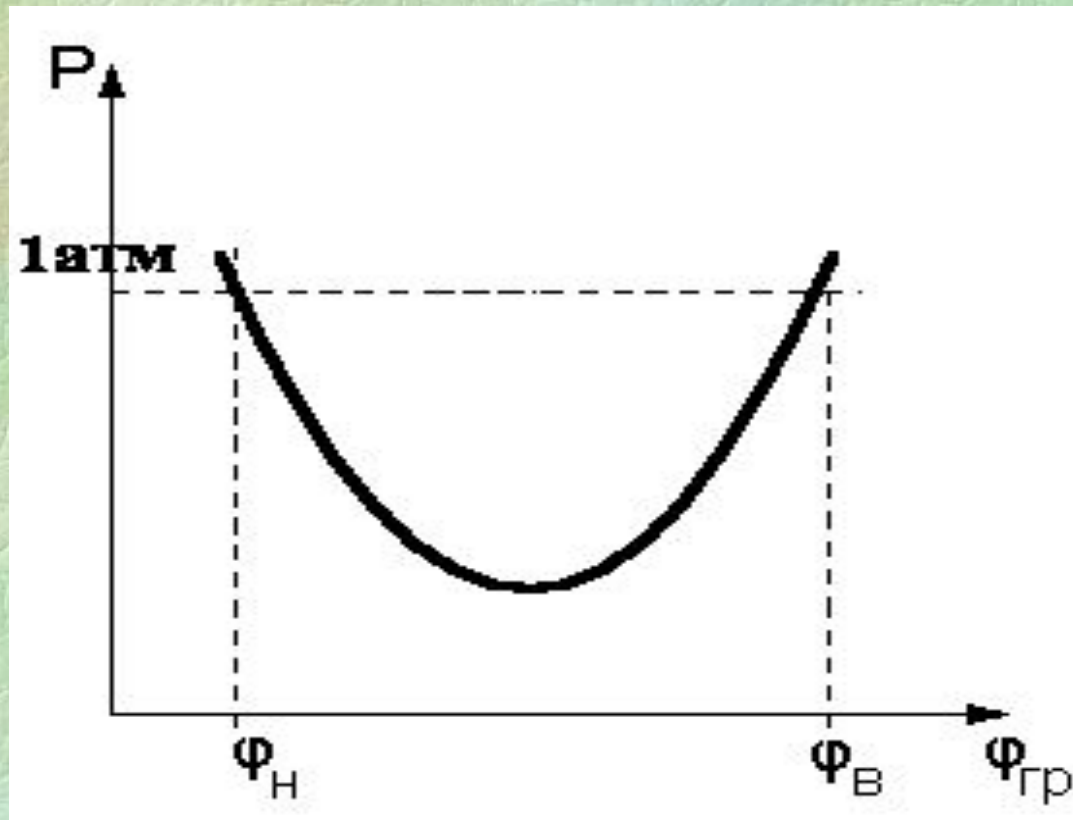
$I z = -800.$

# *Вплив тиску*

$$\omega_{\text{хр}} \sim [k_{\text{гр}}]^n [k_{\text{ок}}]^m,$$

де  $k = p_2/p_1$

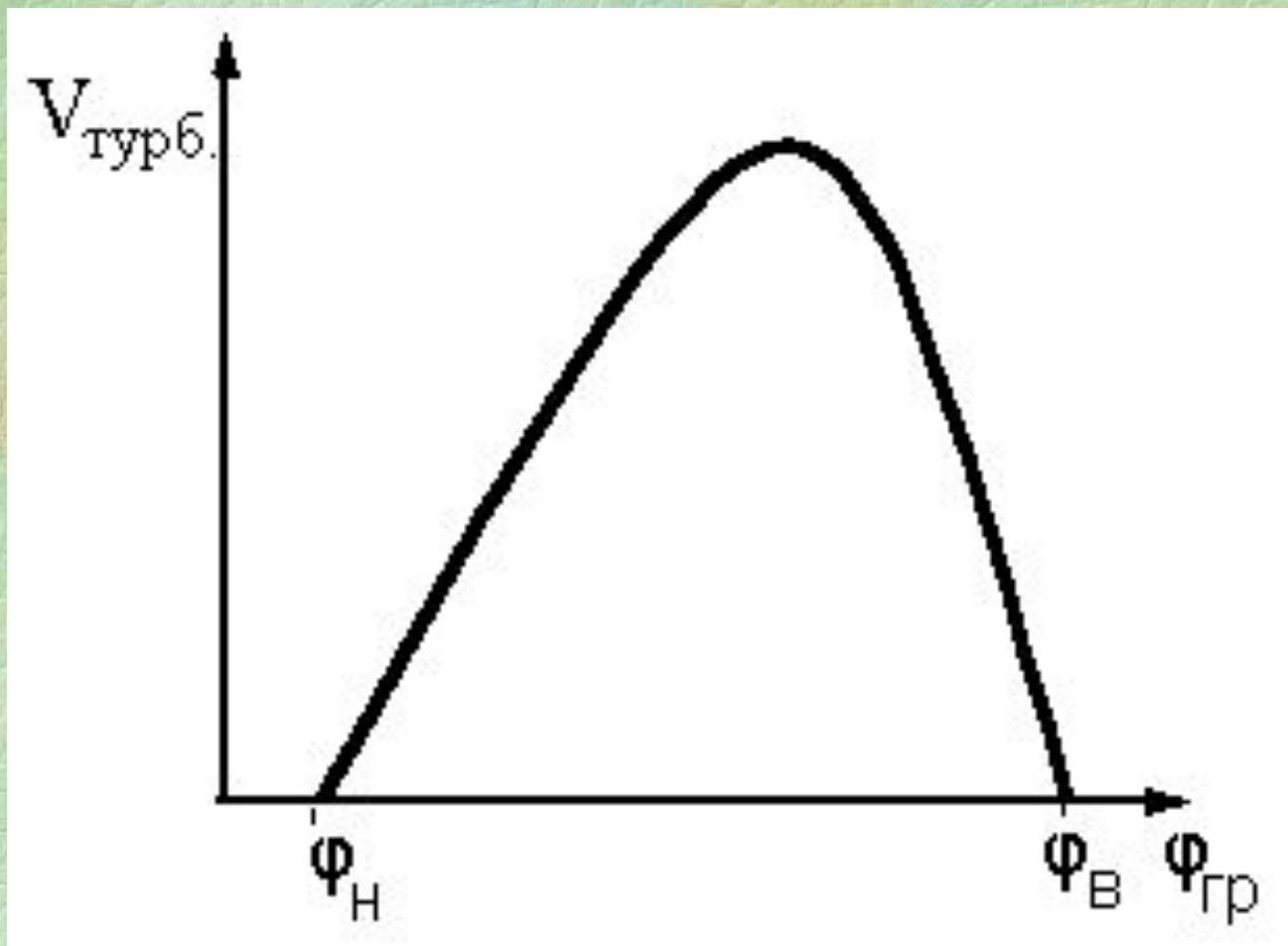
$$P \uparrow \omega_{\text{хр}} \uparrow q(+) \uparrow \varphi_{\text{н}} \downarrow \varphi_{\text{в}} \uparrow$$





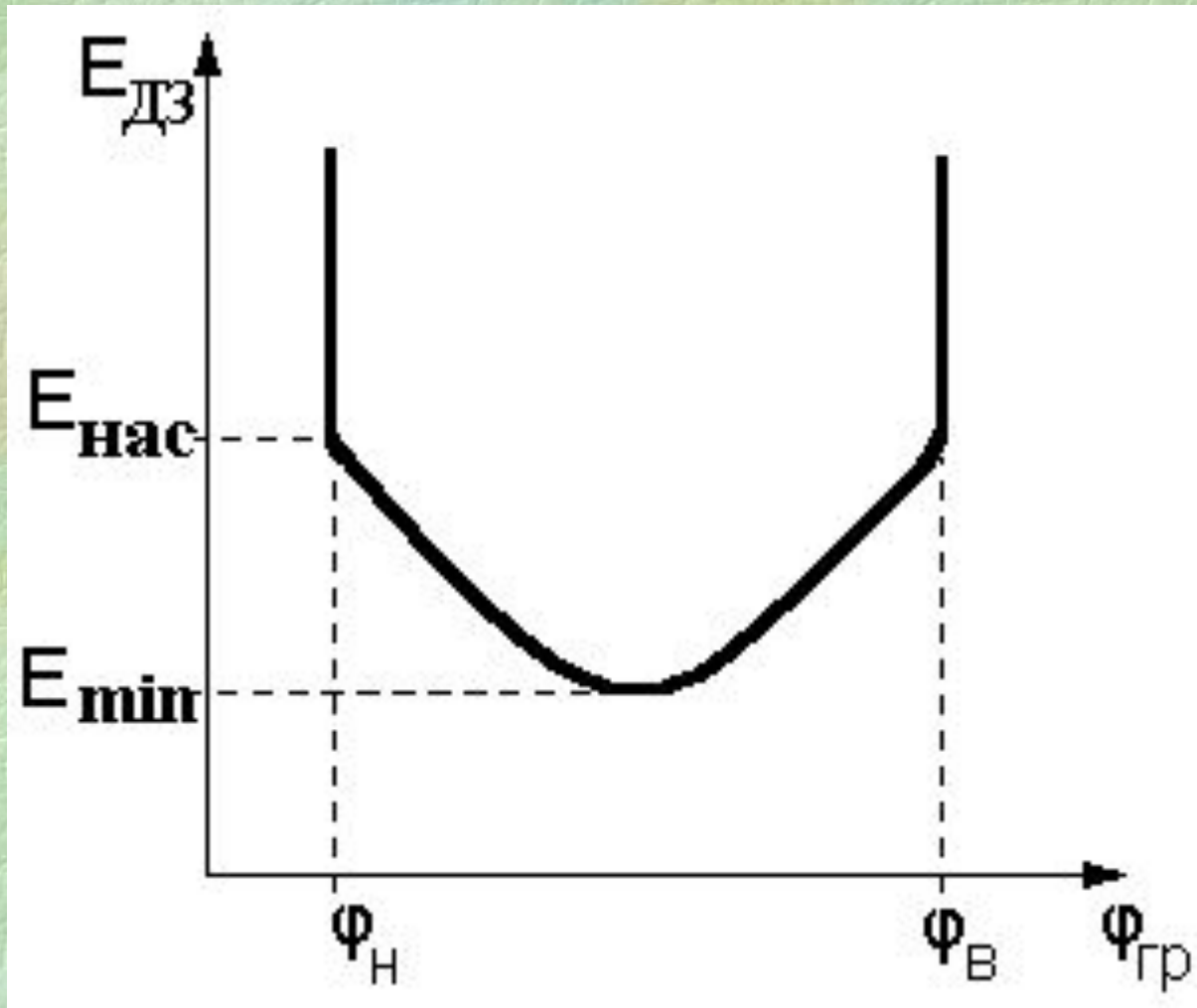
# *Вплив швидкості руху газової суміші*

$$V_{\text{гс}} \uparrow \quad q(-) \uparrow \quad \varphi_{\text{H}} \uparrow \quad \varphi_{\text{В}} \downarrow$$



# *Вплив потужності джерела запалювання*

$$E_{\text{дз}} \uparrow \quad T \uparrow \quad \omega_{\text{хр}} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad \varphi_{\text{н}} \downarrow \quad \varphi_{\text{в}} \uparrow$$

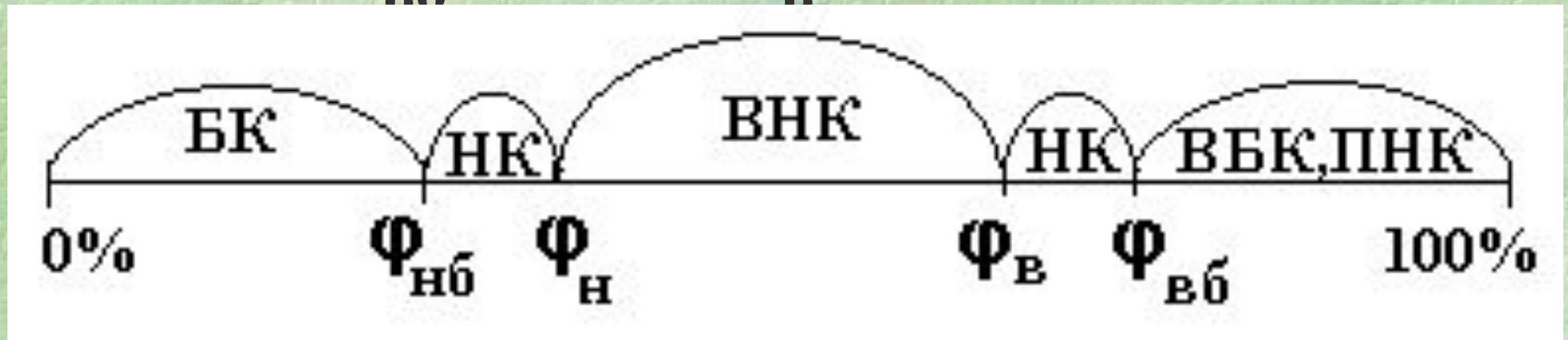




# Безпечні концентраційні межі поширення полум'я:

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

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



**БК** - область **безпечних** концентрацій

**НК** - область **небезпечних** концентрацій

**ВНК** - область **вибухонебезпечних** концентрацій

**ВБК, ПНК** - область **вибухобезпечних, але  
пожежонебезпечних** концентрацій



## 4. Практичне значення КМПП

1. Для порівняльної оцінки пожежної небезпеки декількох речовин.

Найбільш пожежо- та вибухонебезпечними є речовини з більш широким діапазоном вибухонебезпечних концентрацій.

2. Для оцінки пожежної небезпеки фактичної концентрації горючої речовини.

$\varphi_{\text{факт}} < \varphi_{\text{нб}}$  - безпечна концентрація

$\varphi_{\text{нб}} < \varphi_{\text{факт}} < \varphi_{\text{н}}$  - небезпечна концентрація за зміни

УМОВ

$\varphi_{\text{н}} < \varphi_{\text{факт}} < \varphi_{\text{в}}$  - вибухонебезпечна конц-ція

$\varphi_{\text{в}} < \varphi_{\text{факт}} < \varphi_{\text{вб}}$  - небезпечна концентрація за зм. умов

$\varphi_{\text{факт}} > \varphi_{\text{в}}$  - вибухонебезпечна, але

пожежонебезпечна концентрація



3. Для визначення вибухобезпечних умов знаходження горючої речовини всередині технологічного обладнання:

$$\varphi_{\text{факт}} < \varphi_{\text{нб}},$$

$$\varphi_{\text{факт}} > \varphi_{\text{в}}.$$

4. Для встановлення безпечних концентрацій речовин у повітрі, що визначають можливість дії безумовних джерел запалювання без виникнення горіння (відкриті вогневі роботи, вентиляційні системи та ін.):

$$\varphi^0_{\text{без}} < \varphi^0_{\text{нб}}.$$



# Завдання на самопідготовку:

Вивчити матеріал

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