

**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).

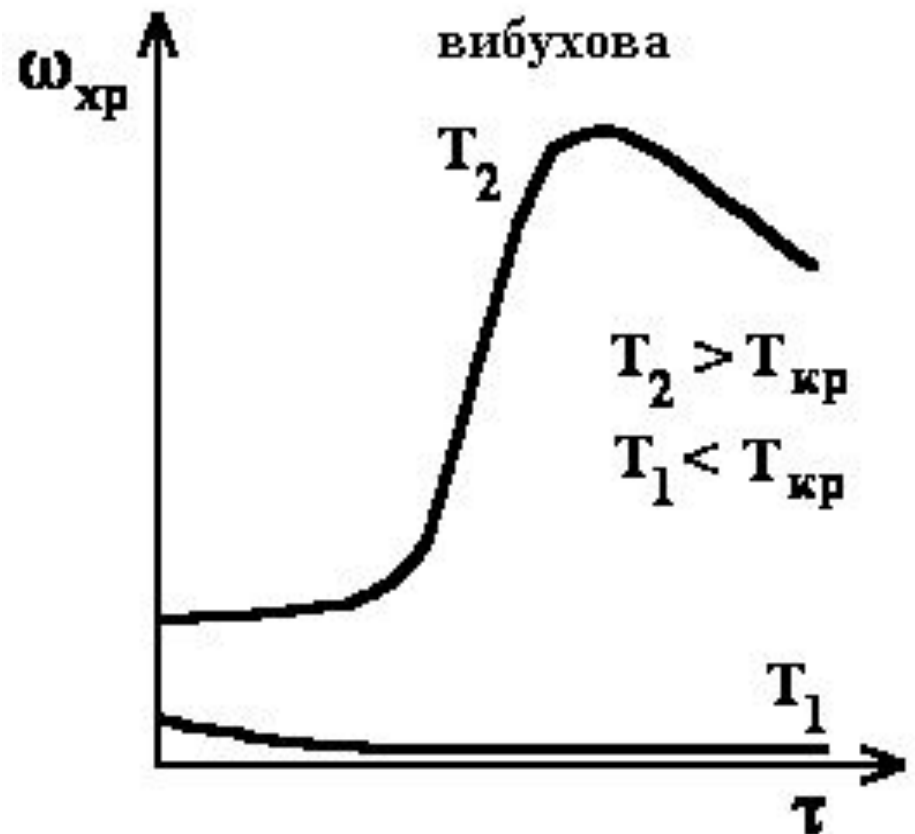
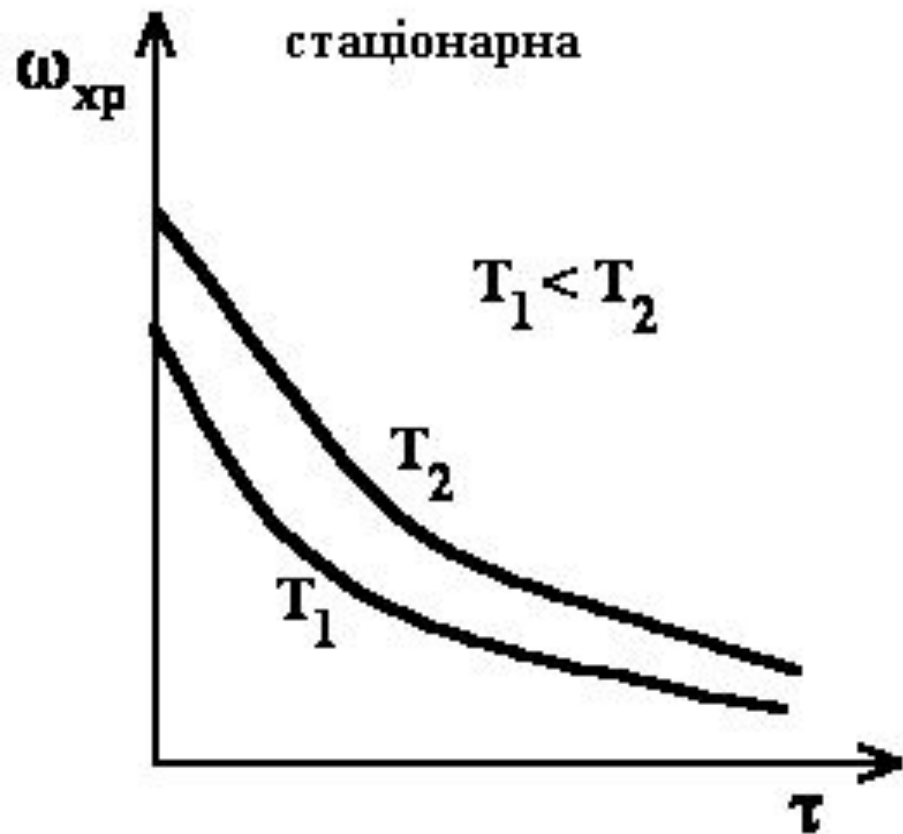
Особливістю горіння є те, що швидкість хімічної реакції збільшується не зважаючи на зменшення концентрації реагуючих речовин.

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 ($\phi_{гр}$ або $\phi_{ок}$) 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 (Φ_H) - найменша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, при якій *вже* можливе виникнення та поширення горіння.

ВКМПП (Φ_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:

$$Q_H - 100\%$$
$$Q_{кр} - \varphi_H \%$$
$$\varphi_H^o = 100 \frac{Q_{кр}^{//}}{Q_H^{//}} = \frac{183000}{Q_H^{//}}, \%$$

2. НКМПП розраховують, виходячи зі складу ГР:

$$\varphi_H^o = \frac{100}{1 + h_f \Delta H_f^o + \sum_j h_j m_j}, \%$$

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

H_f^o - 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

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

		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

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

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: багатоконпонентна система, яка складається із декількох бінарних сумішей граничного складу, взятих у довільному співвідношенні, також є граничною.

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

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

φ_i° - процентний вміст і-го компонента в суміші.

Склад суміші: CH_4 – 30%; C_2H_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 ϕ° у масову ϕ' 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 ($\varphi_H\downarrow, \varphi_B\uparrow$), а чинники, які збільшують тепловтрати від системи в навколишнє середовище $q(-)\uparrow$, звужують область запалювання ($\varphi_H\uparrow, \varphi_B\downarrow$) аж до неможливості горіння.

Найбільший вплив на зміну КМПП мають:

1) вид горючої речовини;

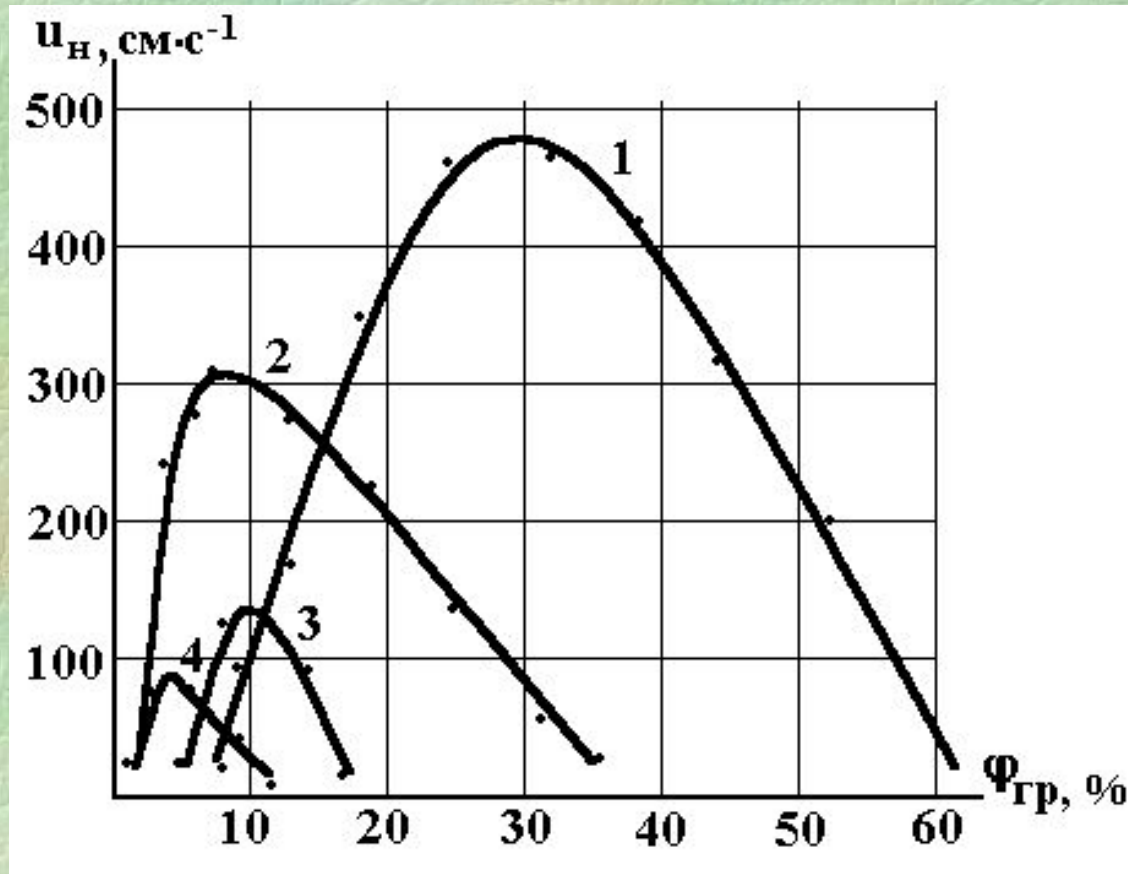
2) склад горючої суміші:

- ✓ 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.

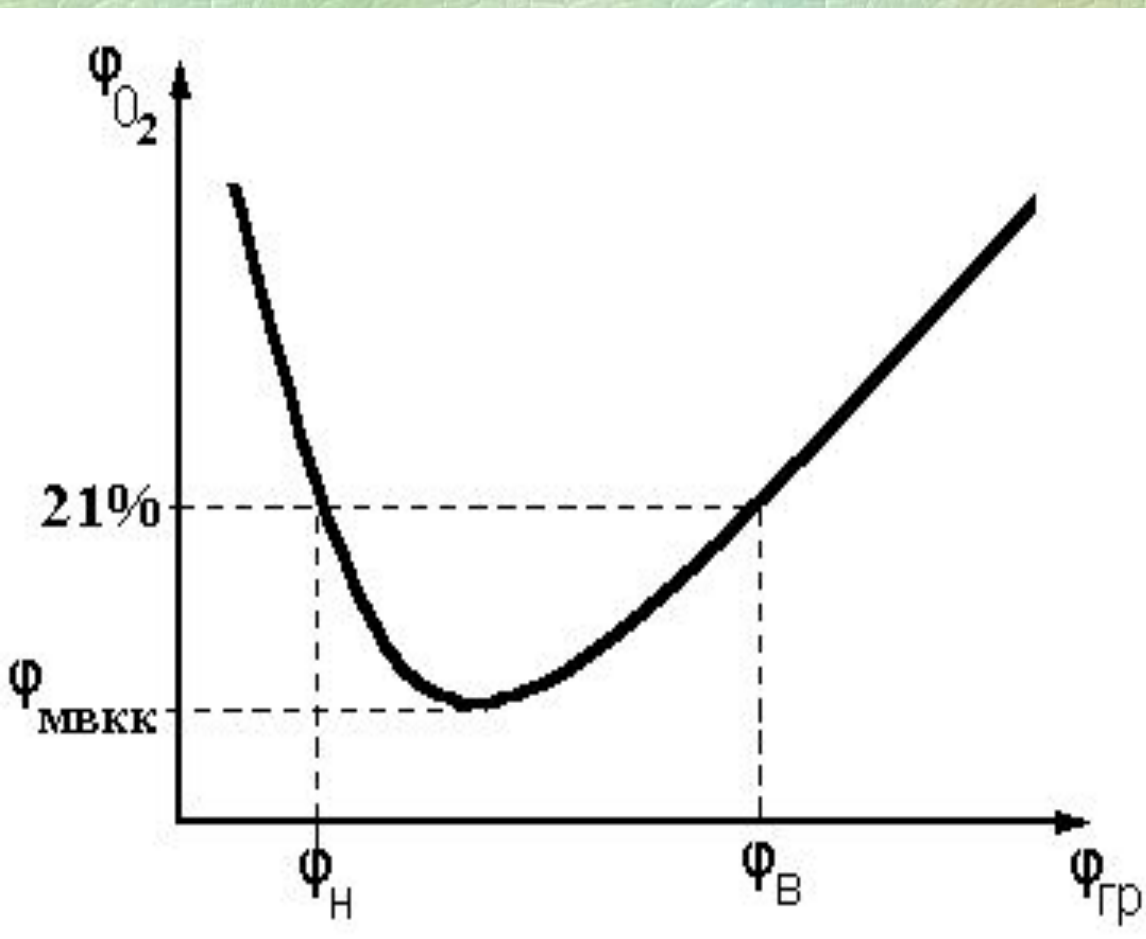
При збільшенні молекулярної маси вуглеводнів концентраційні межі звужуються.



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

Концентрація кисню в окислювальному середовищі

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

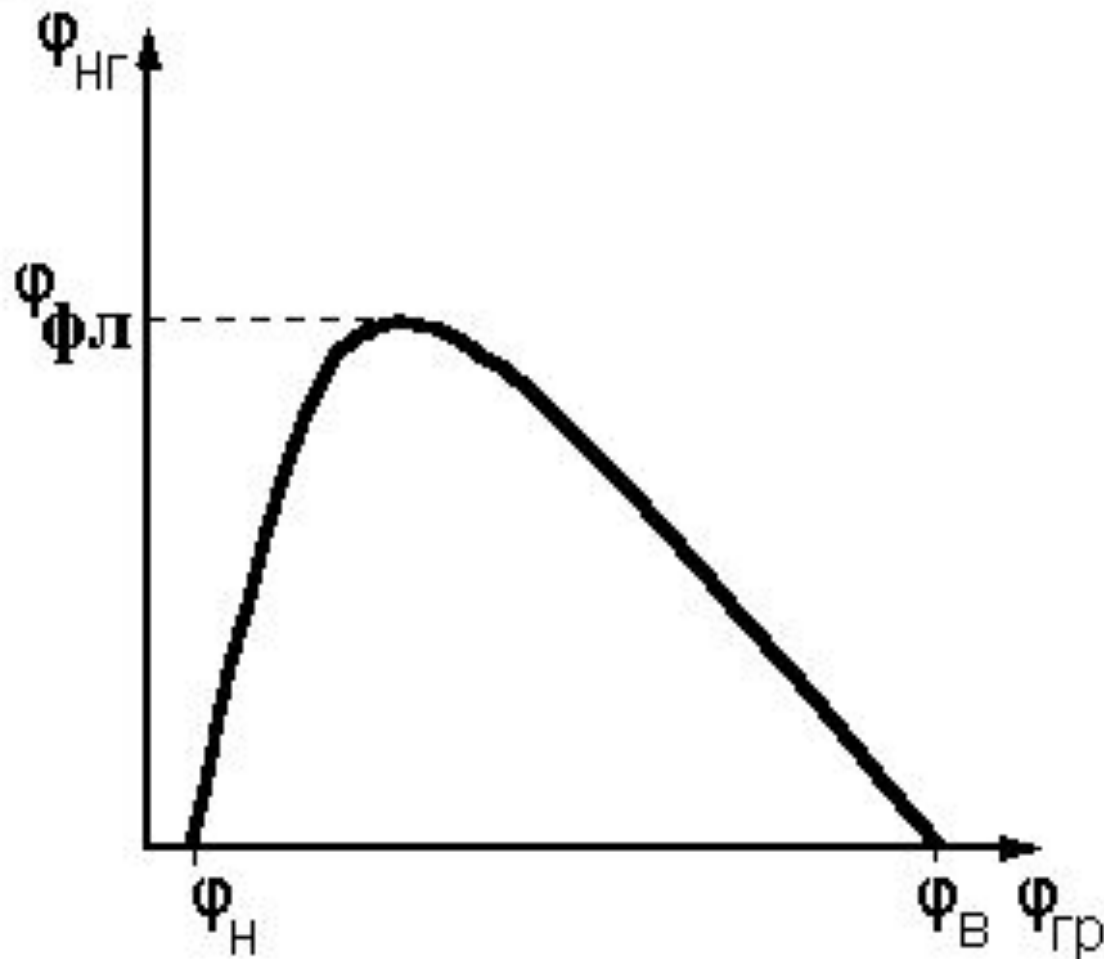


існує критична

**мінімальна
вибухонебезпечна
концентрація
кисню**

Концентрація негорючих домішок в газовій суміші

$$\varphi_{\text{НГ}} \uparrow \quad \omega_{\text{хр}} \downarrow \quad q(+)\downarrow \quad \varphi_{\text{Н}} \uparrow \quad \varphi_{\text{В}} \downarrow$$



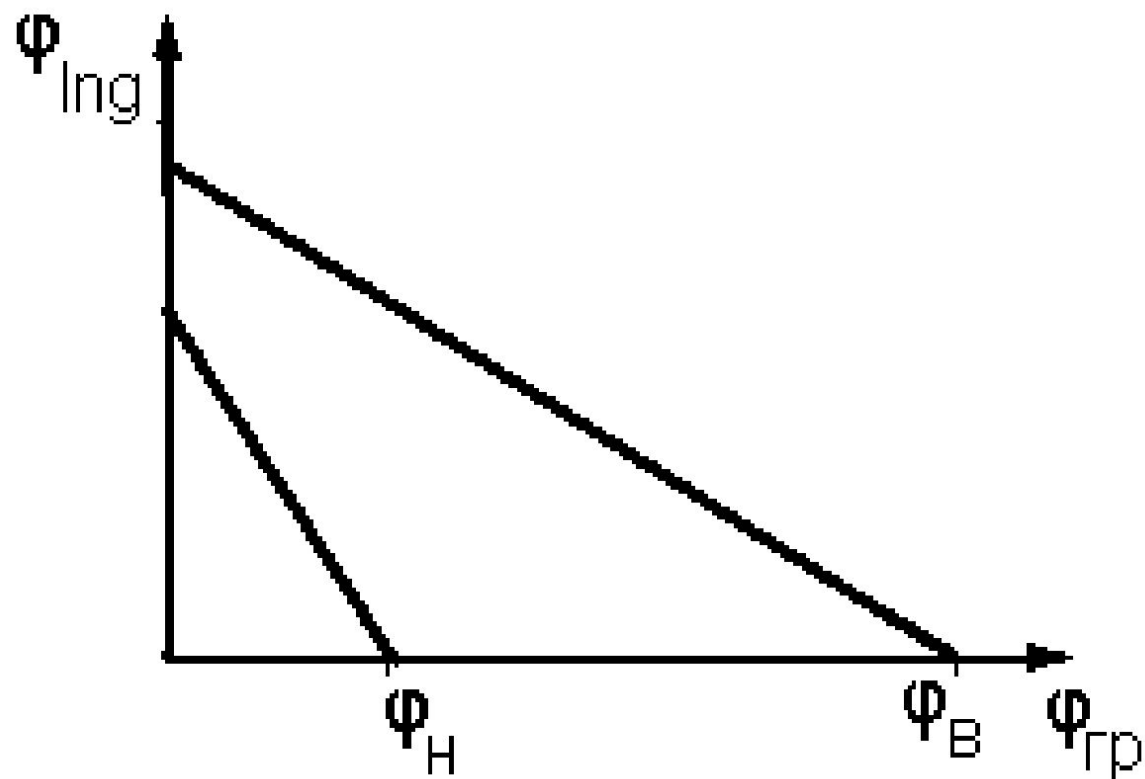
юча
дія НГ

Вплив хімічно-активних домішок

$\varphi_{\text{кат}} \uparrow$ $\omega_{\text{хр}} \uparrow$ $q(+)\uparrow$ $\varphi_{\text{H}} \downarrow$ $\varphi_{\text{В}} \uparrow$

$\varphi_{\text{инг}} \uparrow$ $\omega_{\text{хр}} \downarrow$ $q(+)\downarrow$ $\varphi_{\text{H}} \uparrow$ $\varphi_{\text{В}} \downarrow$

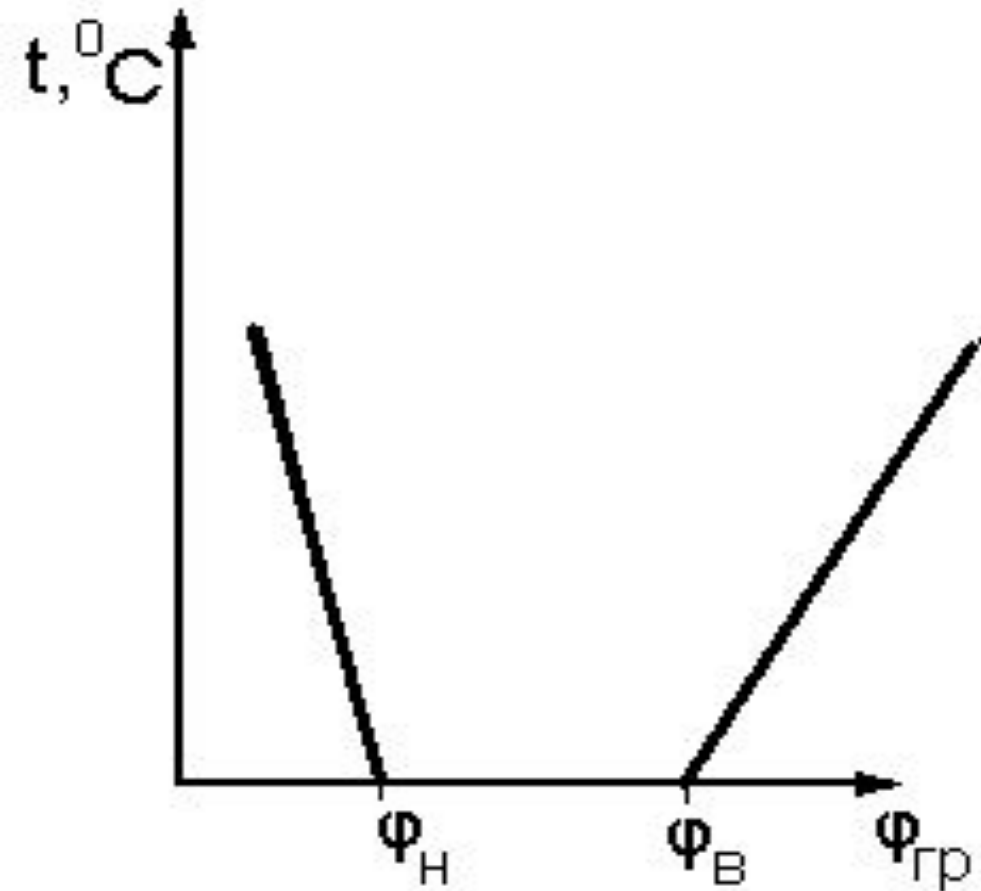
Якщо інгібітор є горючою речовиною:



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

$$I z = 1250,$$

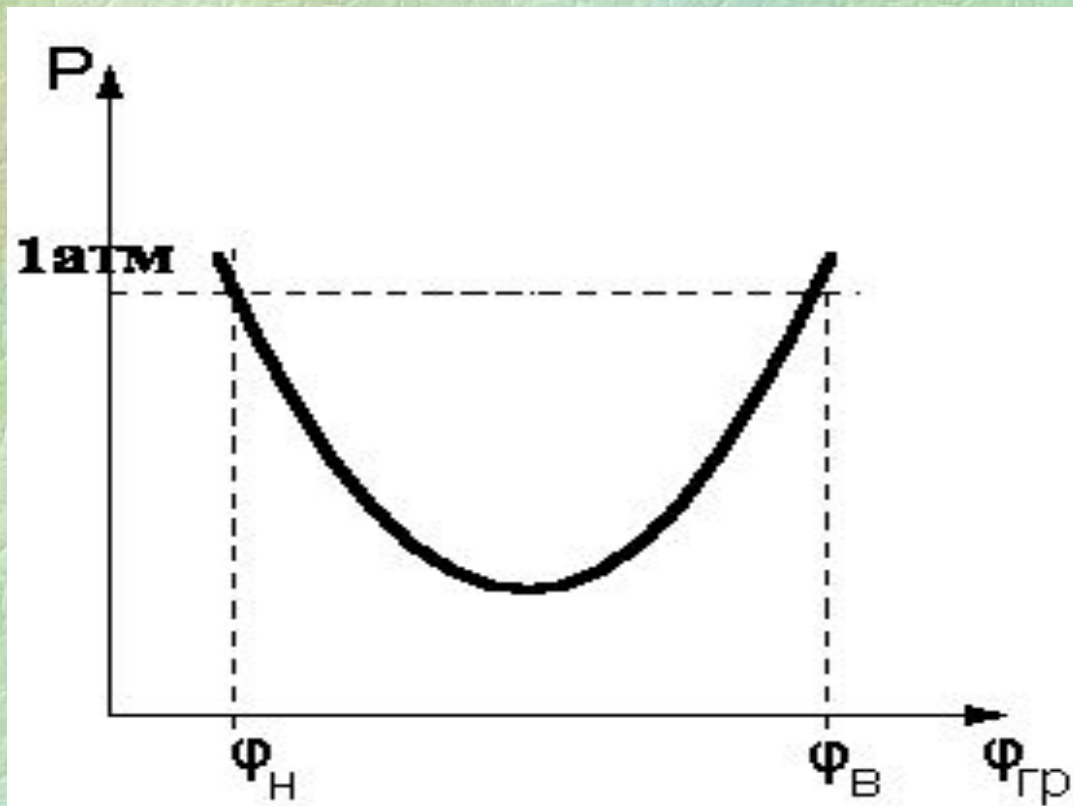
$$I z = -800.$$

Вплив тиску

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

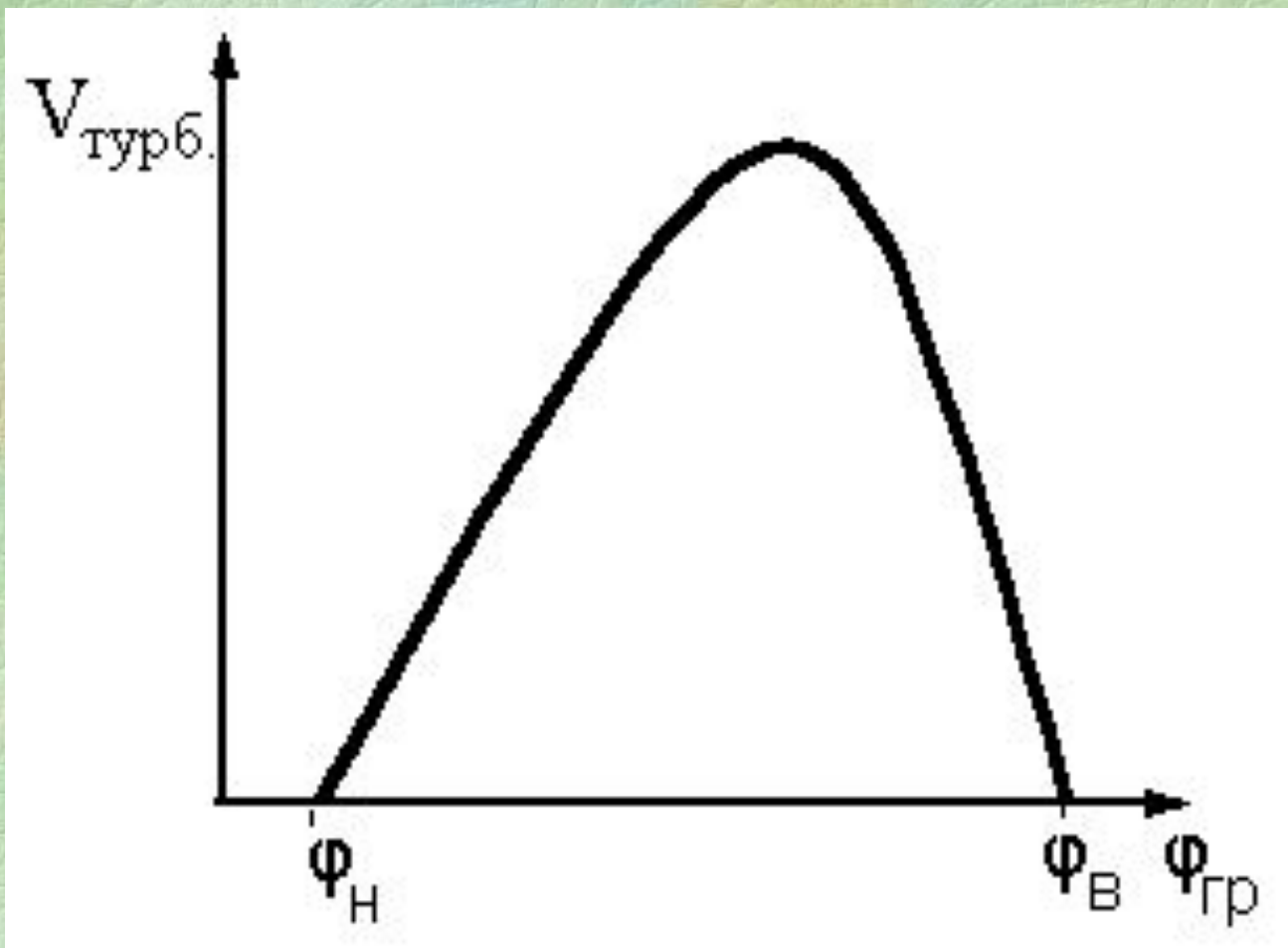
де $k = p_2/p_1$

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



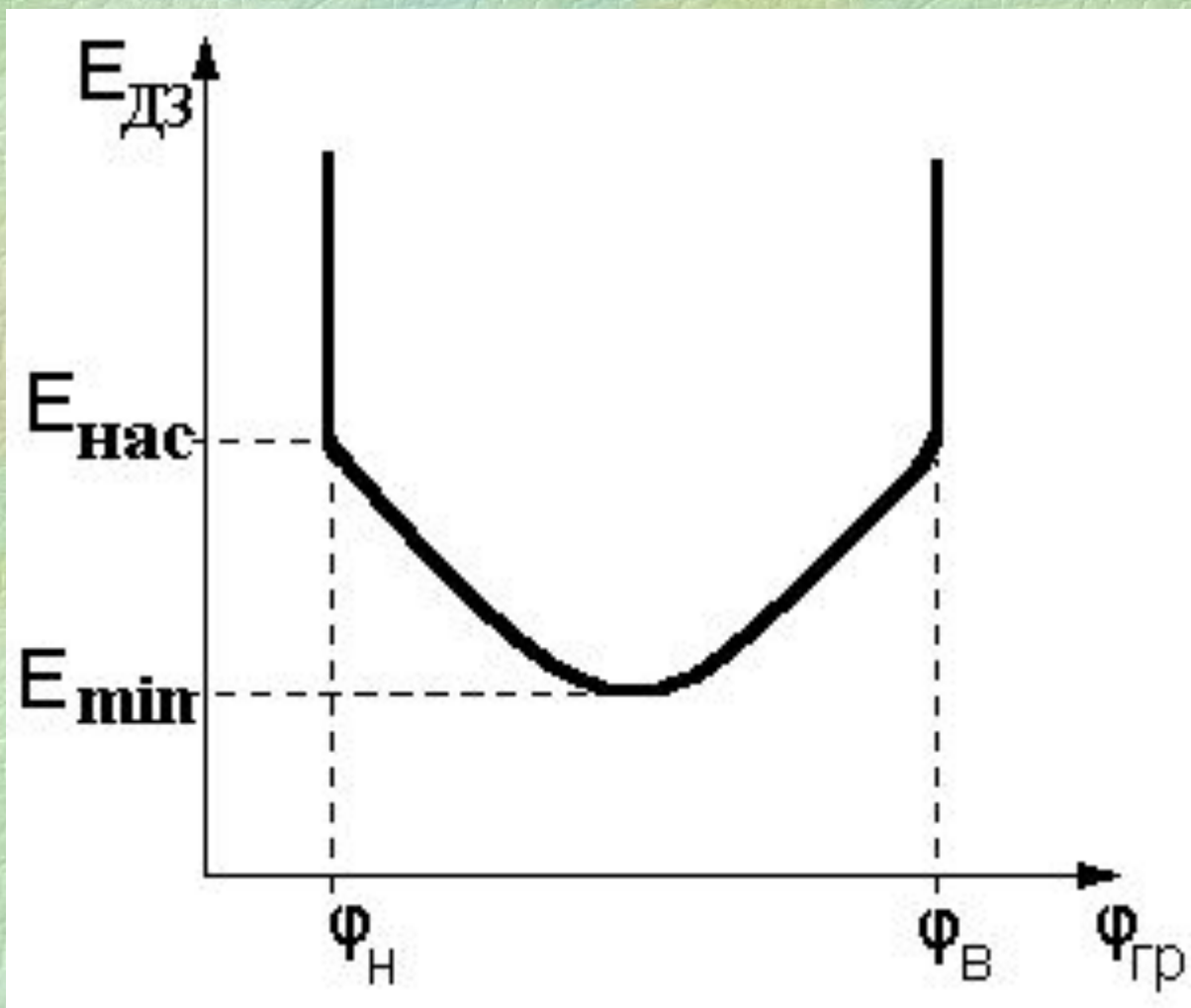
Вплив швидкості руху газової суміші

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



Вплив потужності джерела запалювання

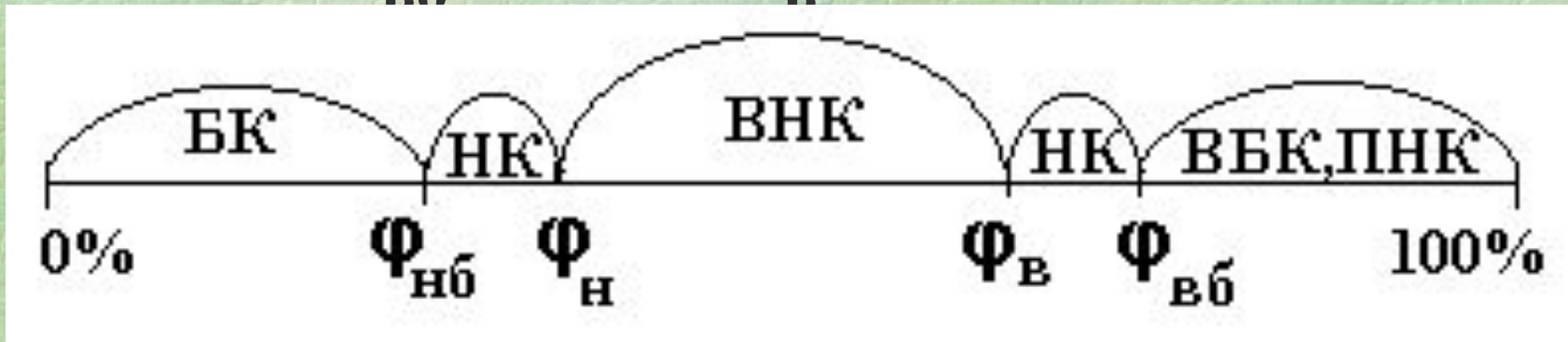
$$E_{\text{дз}} \uparrow \quad T \uparrow \quad \omega_{\text{хр}} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad \varphi_{\text{н}} \downarrow \quad \varphi_{\text{в}} \uparrow$$



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 КМПШ

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.