

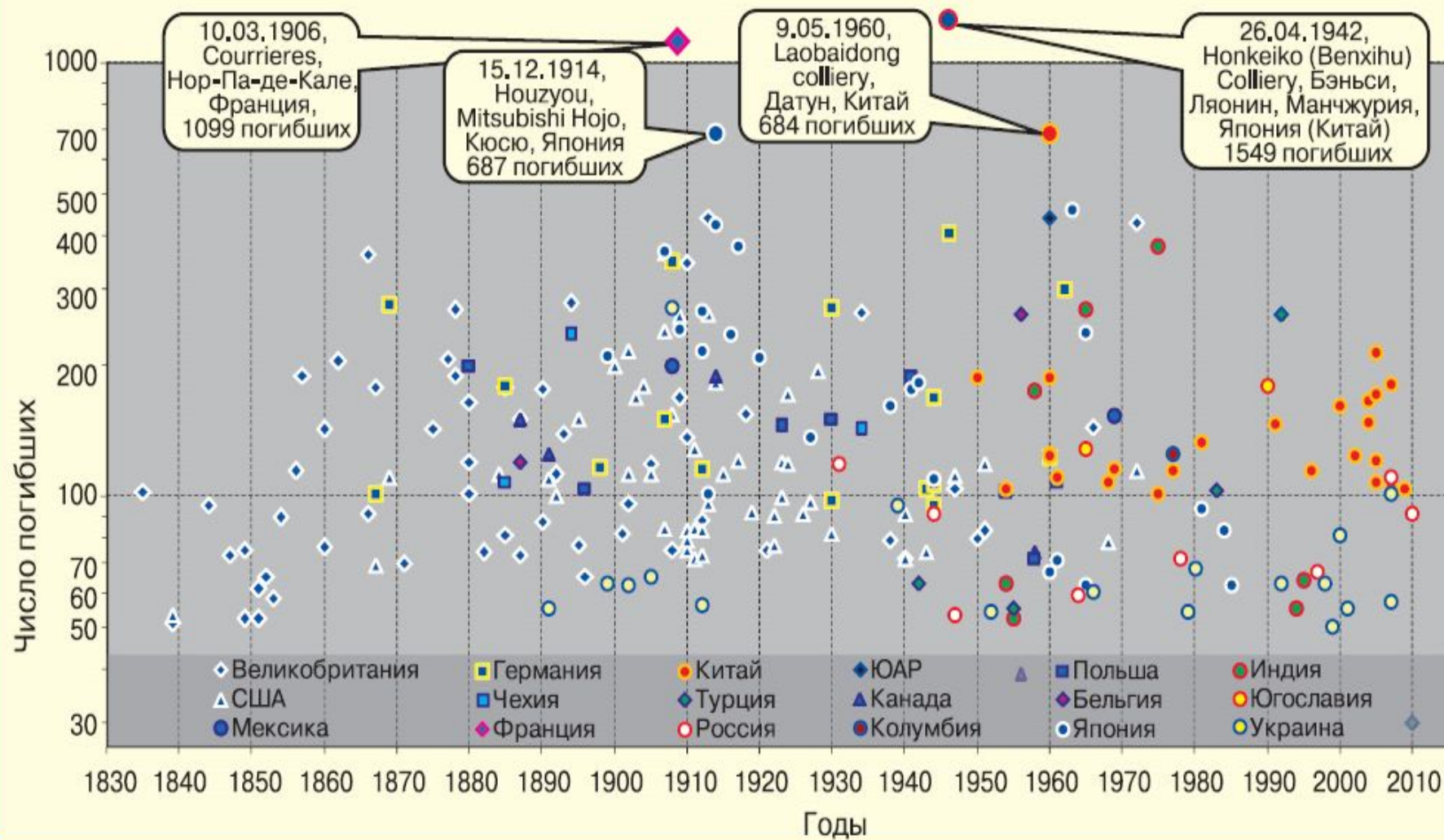
Розділ III.

РОЗВИТОК ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

Тема 10. ОСОБЛИВОСТІ ГОРІННЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Лекція

ГОРІННЯ ПИЛО-ПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ



Распределение по годам крупнейших аварий в шахтах угледобывающих стран

План лекції

1. Загальна характеристика та властивості пилу.
2. Закономірності горіння дисперсних систем.
3. Особливості горіння пилу в стані аерозоль і аерогель
4. Класифікація пилу за пожежною небезпекою.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА І ВЛАСТИВОСТІ ПИЛУ

Пил - колоїдна система, що складається з твердої дисперсної фази і газоподібного дисперсійного середовища.

Аерозоль - пил, завислий у повітрі.

Аерогель – пил, осілий з повітря.

Властивості пилу, що визначають його пожежну небезпеку:

- дисперсність,
- хімічна активність,
- адсорбційна здатність,
- схильність до електризації.

Дисперсність - міра подрібнення матеріалу.

За дисперсністю пил класифікують на **монодисперсний** (однаковий розмір часток) і **полідисперсний** (частки мають різний розмір).

За дисперсністю розрізняють три класи:

мілко дисперсний $d_{\text{ч}} = 10^{-5} \div 10^{-8} \text{ см}$

середньо дисперсний $d_{\text{ч}} = 10^{-3} \div 10^{-5} \text{ см}$

грубо дисперсний $d_{\text{ч}} > 10^{-3} \text{ см}$

Чим більша дисперсність часток, тим менша швидкість їх осадження, оскільки процес осадження урівноважується опором газового середовища.

Хімічна активність - здатність речовини вступати в хімічні реакції з іншими речовинами.

Хімічна активність пилу визначається природою речовини і дисперсністю часток. При збільшенні дисперсності збільшується площа поверхні контакту, відбувається зростання хімічної активності пилу.

Адсорбційна здатність - здатність речовини поглинати й утримувати на своїй поверхні навколишні пари і гази за рахунок сил міжмолекулярної взаємодії.

Якщо пил адсорбує на своїй поверхні негорючі гази, його пожежна небезпека зменшується. Наявність на поверхні пилинок кисню збільшує хімічну активність пилу.

Електризація - здатність пилу набувати заряд статичної електрики за рахунок адсорбції іонів з газового середовища.

Чим більша швидкість рушення пилу і дисперсність, тим більша величина заряду накопичуваної статичної електрики.

Небезпека електризації: накопичений електричний потенціал здатний розрядитися в пиловій хмарі і стати джерелом запалювання.

2. ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ГОРІННЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

2.1. Виникнення горіння пилу

Виникнення горіння пилу можливе
внаслідок:

- запалювання під впливом ДЗ;
- самоспалахування;
- самозаймання.

При *впливі ДЗ* на горючий пил протікають такі процеси:

- попередній нагрів та фізико-хімічні перетворення, характерні для ТГМ, з якого отриманий пил;
- газифікація твердої фази та утворення навколо частки газоповітряної сфери з концентрацією горючих газів $\phi_{гг}$ більше $\phi_{н}$;
- спалахування газоповітряної сфери при нагріві до $T_{зап}$ і утворення *“вогненної сфери”*.

Температура займання пилу $T_{займ}$ - найменша температура пилу, за якої він, розкладаючись, виділяє таку кількість газоподібних продуктів, що достатня для запалювання від ДЗ.

Мінімальна енергія запалювання аерозоллю E_{min} — найменша енергія іскри електричного розряду, за якої виникає запалювання аерозоллю оптимальної концентрації.

$T_{займ}$ та E_{min} пилу залежать від:

- стану пилу

$T_{займ}, E_{min}$ аерогелю < $T_{займ}, E_{min}$ аерозоллю;

- дисперсності часток $d_{\text{ч}} \downarrow T_{займ}, E_{min} \downarrow$;
- вогкості матеріалу $W \uparrow T_{займ}, E_{min} \uparrow$;
- вмісту кисню в повітрі $\phi_{O_2} \uparrow T_{займ}, E_{min} \downarrow$;
- вмісту негорючих компонентів у газовому середовищі $\phi_{\text{нг}} \uparrow T_{займ}, E_{min} \uparrow$.

Самоспалахування пилу - виникнення полум'яного горіння внаслідок різкого збільшення швидкості реакції окислення газоподібних продуктів розкладання матеріалу пилу.

Температура самоспалахування пилу - найменша температура пилу, за якої самоспалахують газоподібні продукти, що утворилися при газифікації пилу внаслідок теплового впливу.

$$T_{cc} \text{ аерозолю} > T_{cc} \text{ аерогелю}$$
$$d_{\text{ч}} \downarrow \quad T_{cc} \downarrow$$

Самозаймання характерне тільки для аерогелю.

Умова акумуляції тепла виникає в товщі шару пилу внаслідок великої швидкості виділення тепла (значна поверхня контакту часток з киснем) і незначної площі тепловіддачі.

Пил полімерів схильний до *теплого* СЗ.

Вугільний пил схильний до *фізичного* СЗ.

Пил ЦВМ схильний до *теплого* та *мікробіологічного* СЗ.

Металевий пил схильний до *хімічного* СЗ.

2.2 Поширення горіння в дисперсній системі

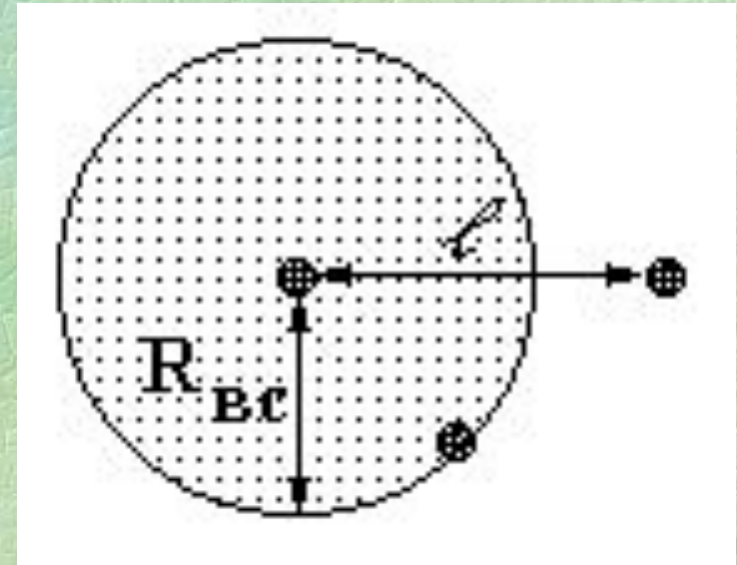
Поширення горіння відбувається за рахунок передачі тепла випромінюванням від зони реакції і продуктів горіння до холодних часток пилу за схемою:

ЗГ → потік тепла → частки пилу

Поширення горіння відбувається за *естафетним механізмом*.

Умовою поширення горіння є попадання в зону “*вогнєної сфери*” холодної пилинки:

$$l < R_{\text{вс}}$$



3. ОСОБЛИВОСТІ ГОРІННЯ ПИЛУ В СТАНІ АЕРОЗОЛЬ ТА АЕРОГЕЛЬ

3.1 Особливості горіння аерогелю

Горіння пилу в осілому стані подібно горінню ТГМ, з якого цей пил отримано.

Параметрами, що характеризують пожежну небезпеку аерогелю, є $T_{\text{займ}}$ і $T_{\text{сс}}$.

Горіння аерогелю має певні особливості:

1. $T_{\text{займ}}$ та $\tau_{\text{займ}}$ для пилу менші, ніж для ТГМ, а швидкість поширення горіння v_l більша за рахунок великої питомої поверхні, на якій активно адсорбується кисень повітря, що обумовлює більшу швидкість протікання реакцій окислення.

2. Аерогель має *підвищену схильність до самозаймання* через велику питому поверхню.
3. Аерогель може *переходити у завислий стан* (внаслідок механічної дії (струшування), дії повітряних потоків, турбулентного руху продуктів горіння), через що може виникнути кінетичне горіння (вибух).
4. Горіння в товщі пилового відкладення значно легше переходить у *режим тління*. Окислювальні процеси протікають одночасно на поверхні і в глибині пилового шару за рахунок кисню, який адсорбований на

3.2. *Особливості горіння аерозолі*

Аерозолі займають проміжне положення між аерогелем і гомогенною газовою сумішшю.

Так само як і аерогелі аерозолі є *гетерогенними системами* з твердою фазою, і поведінка їх визначається властивостями ТГМ.

З газоповітряними сумішами аерозолі схожі тим, що *горіння протікає в кінетичному режимі* (з вибухом).

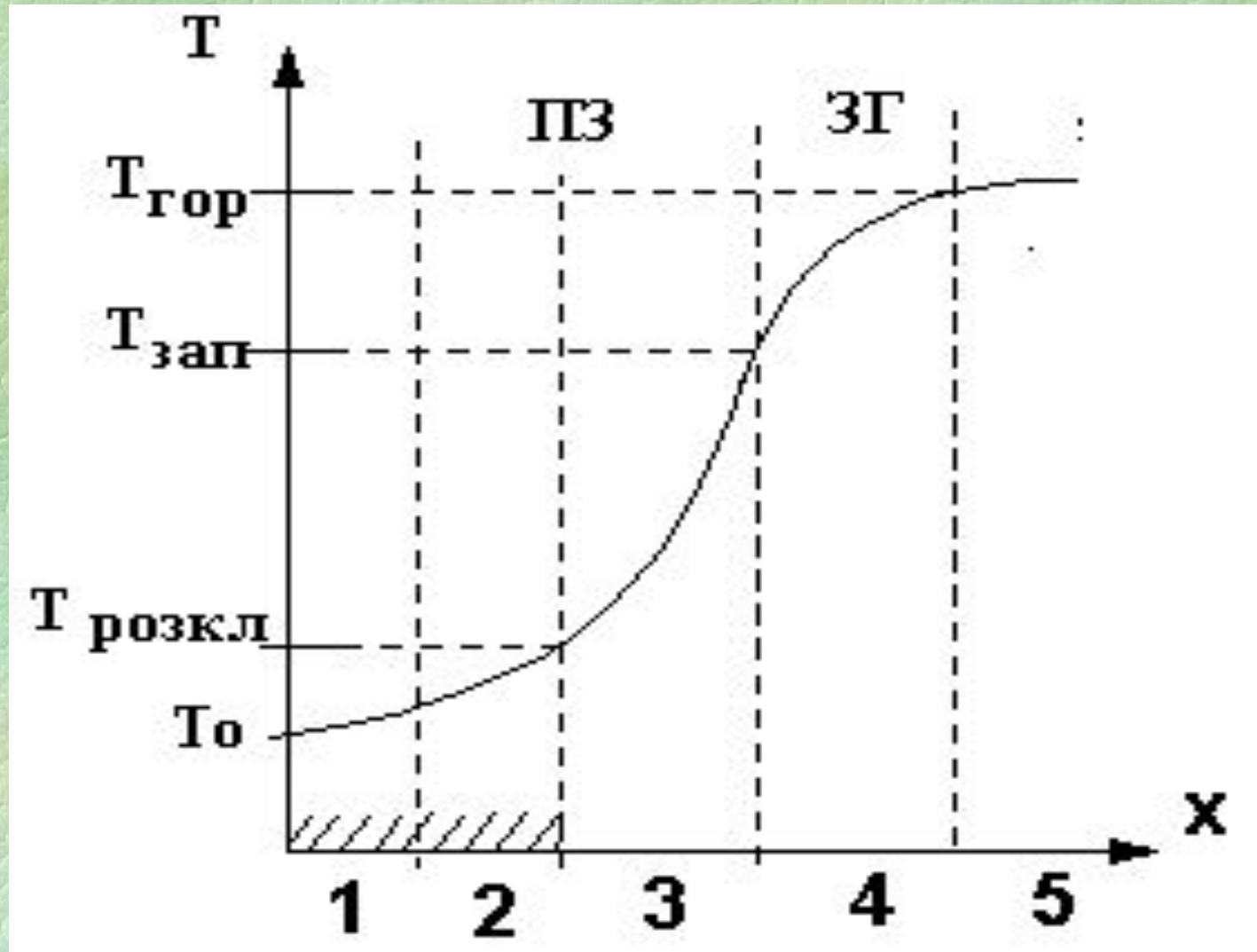
Тому *горіння пилу в стані аерозоль подібно горінню газів.*

Параметрами пожежної небезпеки аерозолі є:
 $K_{МП}$, $E_{\min}$, $P_{\text{виб.}}$

Відмінності горіння аерозолю від горіння газів:

- 1) Аерозоль — гетерогенна система, що обумовлює більш високу енергію запалювання (на два порядки вище), чим для газових сумішей.***
- 2) Через схильність аерозолів до злипання і осадження їх вибухонебезпека у виробництві характеризується тільки НКМПП.***
- 3) Швидкість поширення горіння в аерозолі на порядок вище за швидкість поширення полум'я в газових сумішах. Це обумовлено передачею тепла випромінюванням за естафетним механізмом.***

4) Горіння дисперсних систем пов'язано з *протіканням додаткових підготовчих процесів перед фронтом полум'я.*



5) Для аерозолю характерно *декілька режимів горіння* залежно від природи ТГМ:

- *гомогенний* режим (горіння газоподібних продуктів газифікації) характерний для *ТГМ 1-го роду*;
- *квазігомогенний* режим (гетерогенне горіння окремої частки, але загалом горіння проходить в об'ємі хмари аерозолю як би в гомогенному режимі) характерний для *ТГМ, що не газифікуються*;
- *змішаний режим* (газоподібні продукти горять в гомогенному режимі, а твердий залишок - в гетерогенному) характерний для *ТГМ 2-го роду*.

6) Для аерозолю характерно протікання *поетапних вибухів*. Первинний спалах пилу приводить в стан аерозолю значні кількості осілого пилу з подальшим його займанням.

3.3 Фактори, що впливають на вибухонебезпеку аерозолю

Параметри, що характеризують вид пилу:

- зольність (A , %);

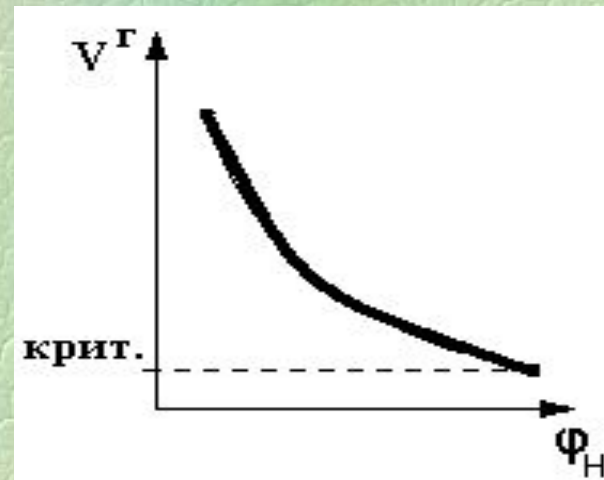
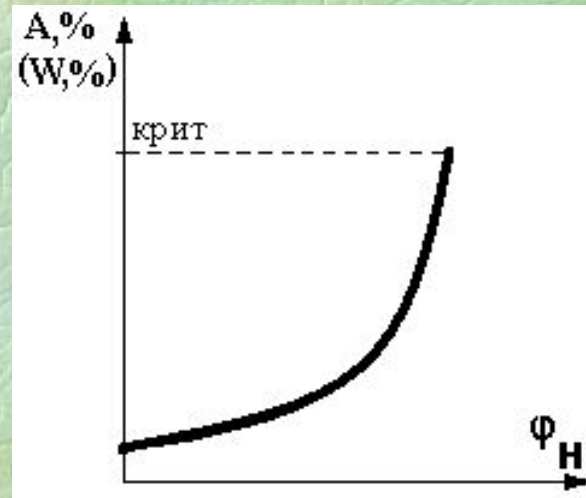
$$A \uparrow \quad q(-) \uparrow \quad \varphi_H \uparrow$$

- вогкість (W , %);

$$W \uparrow \quad q(-) \uparrow \quad \varphi_H \uparrow$$

- вміст летючих компонентів (V^r);

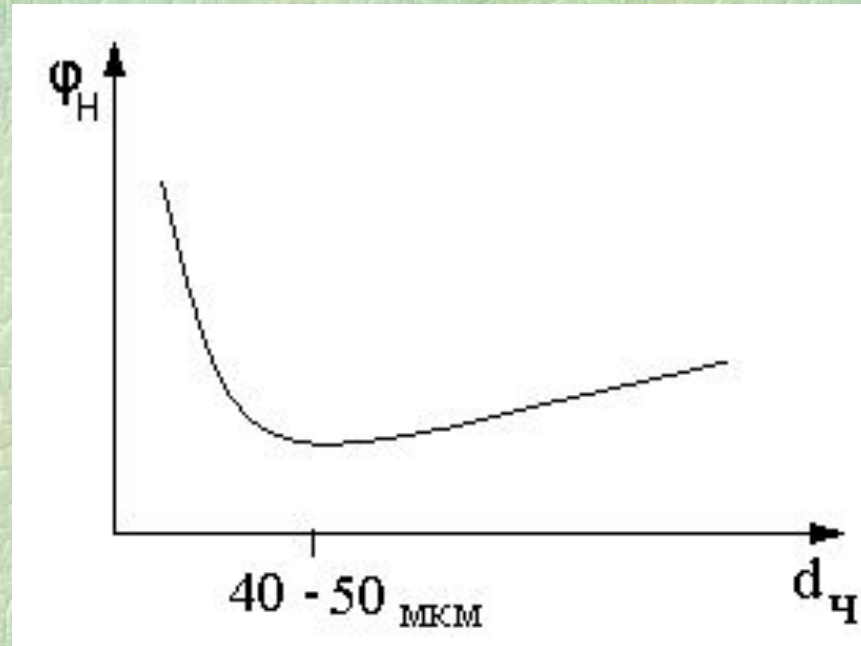
$$V^r \uparrow \quad \omega_{xp} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad \varphi_H \downarrow$$



- дисперсність часток ($d_{\text{ч}}$)

- $d_{\text{ч}} \downarrow$ $S_{\text{пит}} \uparrow$ $\omega_{\text{хр}} \uparrow$ $q(+)\uparrow$ $\varphi_{\text{н}} \downarrow$

- $d_{\text{ч}} \downarrow$ $R_{\text{вс}} \downarrow$ $l \downarrow$ $\varphi_{\text{н}} \uparrow$



Грубодисперсний пил є вибухобезпечним, бо крупні частки повільно прогріваються і не встигають утворити при цьому летючі продукти газифікації.

Параметри, які характеризують склад газового середовища:

- ВМІСТ КИСНЮ

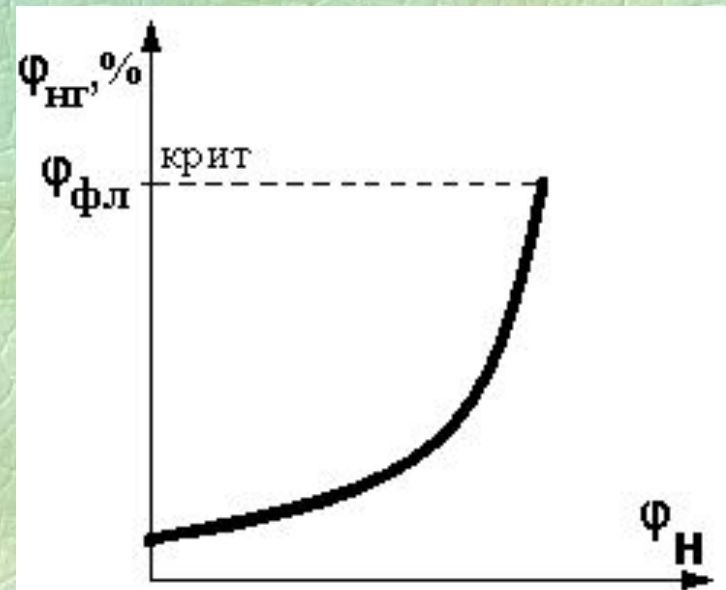
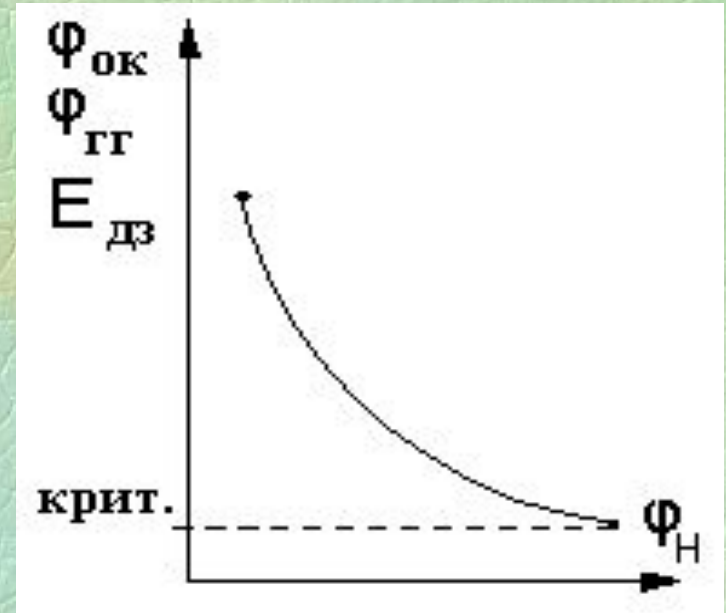
$$\varphi_{O_2} \uparrow \quad \omega_{xp} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad \varphi_H \downarrow$$

- ВМІСТ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ
(гібридні суміші).

$$\varphi_{ГГ} \uparrow \quad \omega_{xp} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad \varphi_H \downarrow$$

- ВМІСТ НЕГОРЮЧИХ ГАЗІВ;

$$\varphi_{нг} \uparrow \quad \omega_{xp} \downarrow \quad q(+)\downarrow \quad \varphi_H \uparrow$$

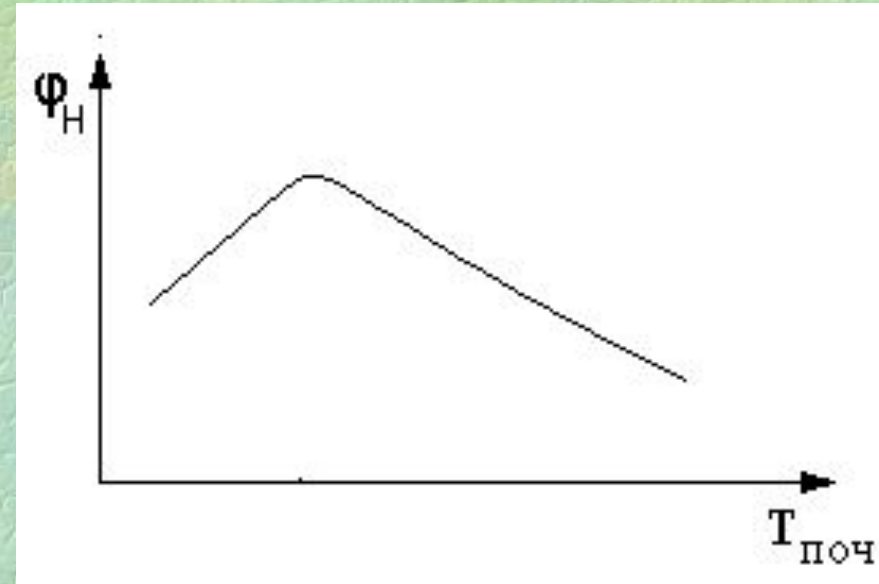


Параметри, які характеризують умови, в яких знаходиться пил і відбувається процес запалювання:

- початкова температура

$T_{\text{поч}} \uparrow \quad \varphi_{\text{o2}} \downarrow \quad \omega_{\text{хр}} \downarrow \quad q(+)\downarrow \quad \varphi_{\text{н}} \uparrow$

$T_{\text{поч}} \uparrow \quad \omega_{\text{хр}} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad q(-)\downarrow \quad \varphi_{\text{н}} \downarrow$



- потужність джерела запалювання

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

- тиск системи.

$P \uparrow \quad V^{\Gamma, \%} \downarrow \quad \omega_{\text{хр}} \downarrow \quad q(+)\downarrow \quad \varphi_{\text{н}} \uparrow$

4. КЛАСИФІКАЦІЯ ПИЛУ ЗА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

У стані **аерозолю** пил горить у кінетичному режимі з вибухом, тому за основний параметр пожежної небезпеки приймається **НКМПП**.

У стані **аерогель** пил може займатися, самоспалахувати і самозайматися, і для оцінки пожежонебезпечних властивостей пилу-гелю використовують **температуру самоспалахування**.

Весь горючий пил за пожежною небезпекою поділяють на дві групи і чотири класи.

I група - вибухонебезпечний пил

Пил, що здатний до вибуху і має $\phi'_{\text{н}} \leq 65 \text{ г/м}^3$, $\Delta P_{\text{виб}} \geq 5 \text{ кПа}$.

1 клас - найбільш вибухонебезпечний пил

$$\phi'_{\text{н}} \leq 15 \text{ г/м}^3;$$

2 клас - вибухонебезпечний пил

$$15 \text{ г/м}^3 < \phi'_{\text{н}} \leq 65 \text{ г/м}^3;$$

II група - пожежонебезпечний пил

Пил, який має $\phi'_{\text{н}} > 65 \text{ г/м}^3$

3 клас - найбільш пожежонебезпечний пил

$$T_{\text{cc}} \leq 250^{\circ}\text{C};$$

4 клас - пожежонебезпечний пил

$$T_{\text{cc}} > 250^{\circ}\text{C}.$$

Для аерозолю органічних речовин з розмірами часток до 10 мкм НКМПП пилу і пари, яка утворюється при випаровуванні, співпадають.

НКМПП для пари, утвореної в зоні підготовчих процесів, визначають за формулою:

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

де $h_f = 0,0246$;

ΔH_f^0 – теплота утворення горючої речовини;

m_j – число атомів j -го елемента;

h_j – коефіцієнт j -го елемента

При збільшенні розміру часток до 40-50 мкм нижня межа знижується а при подальшому зростанні розміру часток знову зростає.

Значення масової НКМПП можна розрахувати за *формулами Монахова*:

- для *мілко дисперсного* пилу ($d_{\text{ч}} < 10$ мкм):

$$\varphi'_H = 0,41 \cdot \mu \cdot \varphi_H^0, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3};$$

- для *крупно дисперсного* пилу ($d_{\text{ч}} = 40-50$ мкм):

$$\varphi'_H = 0,164 \cdot \mu \cdot \varphi_H^0, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3};$$

Наявність взаємозв'язку між теплотою згоряння і НКМПП для газів визначила пошук такої ж залежності для пилу. Внаслідок досліджень отримана *формула Шоневальда*:

$$\varphi'_H = a + \frac{b \cdot 10^6}{Q'_H}$$

пил	a	b
технічний	-0,604	1,194
палива	-7,952	1,394
металевий	-1,54	1,132
органічних речовин	-2,524	1,235

Завдання на самопідготовку:

1. Проробити літературу:

- 1.Демидов, Шандыба, Щеглов - Горение и свойства горючих веществ. Стр. 148-156;
- 2.Демидов, Саушев - Горение и свойства горючих веществ. Стр. 225-232;
- 3.Баратов, Корольченко- Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и их средства тушения. Стр. 20-21

2. Підготуватися до практичного заняття та лабораторної роботи