

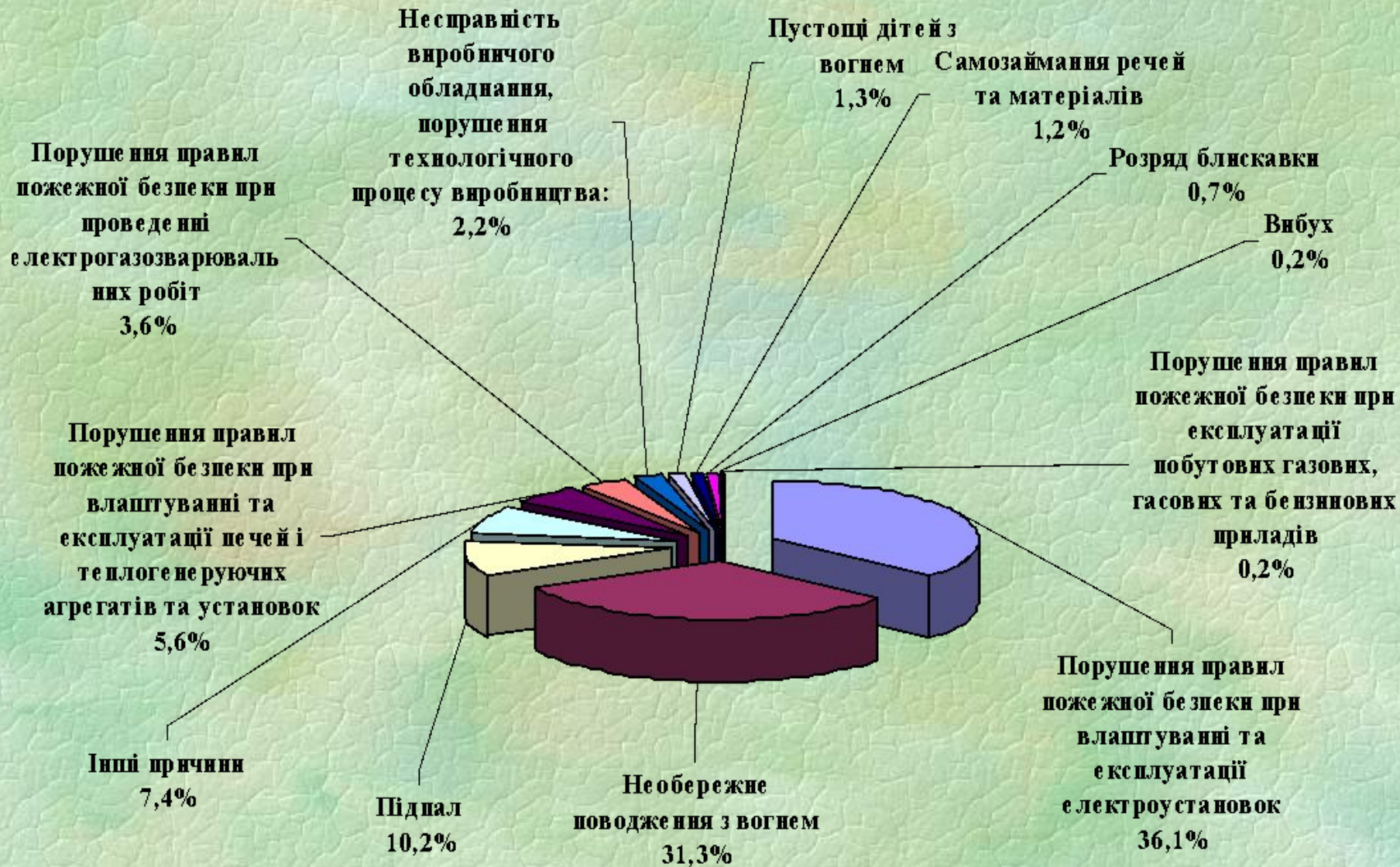
**Розділ II.**  
**ВИНИКНЕННЯ ПРОЦЕСУ**  
**ГОРІННЯ**

**Тема 6.**

**ВИМУШЕНЕ ЗАПАЛЮВАННЯ**  
**ГОРЮЧИХ СИСТЕМ**

**Лекція 7**

**ЗАПАЛЮВАННЯ НАГРІТИМ ТІЛОМ ТА**  
**ЕЛЕКТРИЧНИМ РОЗРЯДОМ**



Причина пожежі	Пожеж, од.	Загину- ло, осіб	Зб. прями, тис. грн.
Порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок	1056	16	8426
Необережне поводження з вогнем	917	57	5449
Підпал	298	0	8251
Інші причини	217	3	5465
Порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації печей і теплогенеруючих агрегатів та установок	163	5	676
Порушення правил пожежної безпеки при проведенні електрогазозварювальних робіт	104	4	779
Несправність виробничого обладнання, порушення технологічного процесу виробництва	64	0	1052
Пустощі дітей з вогнем	38	0	270
Самозаймання речей та матеріалів	36	0	180
Розряд блискавки	21	0	358
Порушення правил ПБ при експлуатації побутових газових, гасових та бензинових приладів	7	0	140
Вибух	5	1	14

# План лекції

1. Поняття та особливості процесу запалювання.
2. Запалювання нагрітою поверхнею.
3. Запалювання горючих систем електричними розрядами.
4. Запалювання променистим потоком тепла.

# 1. ПОНЯТТЯ І ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ЗАПАЛЮВАННЯ

*Вимушене запалювання* - виникнення горіння внаслідок дії джерела запалювання на невелику частку відносно холодної горючої системи.

*Джерело запалювання* - тіло, що горить, або розжарене тіло, а також електричний розряд, які мають енергію і температуру, достатні для виникнення горіння інших речовин.

Залежно від природи теплового впливу розрізняють *види (групи) джерел запалювання*:

- теплові прояви хімічної енергії;
- теплові прояви електричної енергії;
- теплові прояви механічної енергії;
- теплові прояви ядерної енергії, енергія сонячних променів;
- відкрите полум'я, розжарені продукти горіння або нагріте ними тіло.

# Відмінності запалювання від самоспалахування

1. Горіння виникає не в усій системі, як при СС, а тільки в частині ГС, яка примикає до ДЗ, інша маса ГС залишається відносно холодною.
2. При СС тепловіддача визначається конвекцією від системи в навколишнє середовище. При ВЗ тепловіддача визначається теплопровідністю всередині самої ГС.

$$q(-) = -\lambda d^2T/dx^2.$$

3. При ВЗ інтенсивність тепловіддачі більша, ніж при СС, через те що вихідна ГС залишається холодною.

$$q(-)_{\text{зап}} > q(-)_{\text{сс}}.$$

4. Для перевищення  $q(+)$  над  $q(-)$  необхідно при ВЗ збільшити температуру, до якої нагрівається частка холодної ГС. Отже, при ВЗ відбувається локальний нагрів ГС до критичної температури - *температури запалювання*  $t_{\text{зап}}$ , більшої, ніж  $t_{\text{сс}}$

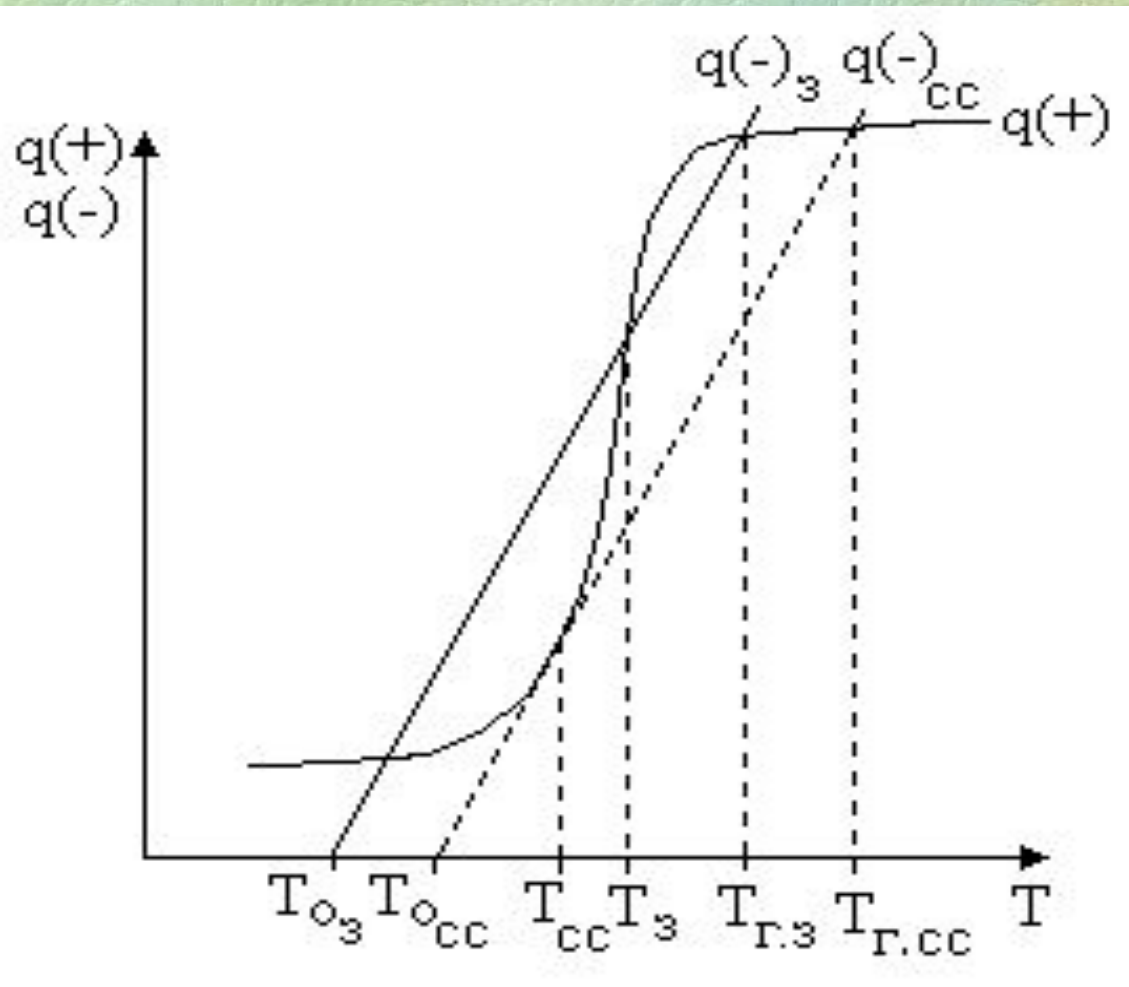
$$t_{\text{зап}} > t_{\text{сс}}$$

5. При СС горіння є гомогенним кінетичним, а при ВЗ може виникати як полум'яне горіння, так і гетерогенне дифузійне (тління) при впливі ДЗ на деякі тверді горючі матеріали.

6. Величина періоду індукції  $\tau_{\text{інд}}$  при ВЗ залежить від агрегатного стану горючої речовини і потужності ДЗ.

7. Через високу інтенсивність тепловіддачі при ВЗ температура горіння буде нижчою, ніж при самоспалахуванні.

$$t_{\text{гор}}(\text{зап}) < t_{\text{гор}}(\text{сс})$$

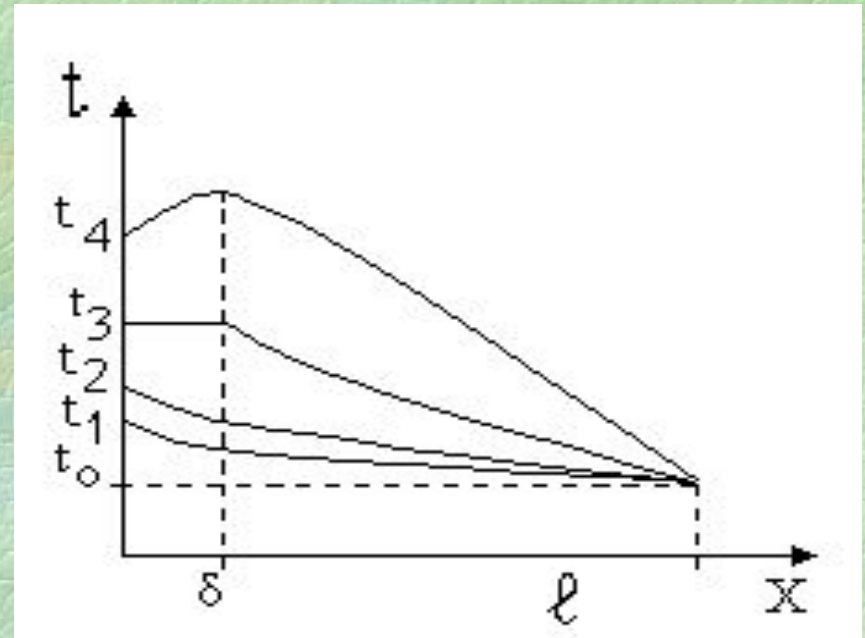
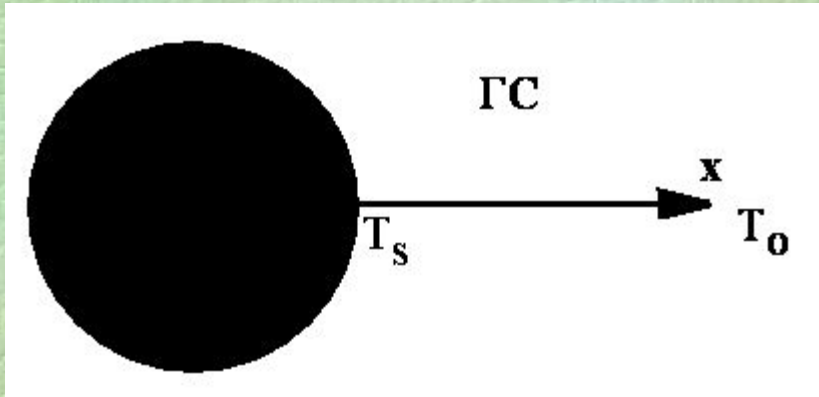


$$q(+)=q(-)$$

$$V_{гс} Q_n \omega_{xp} = -\lambda d^2 T / dx^2$$



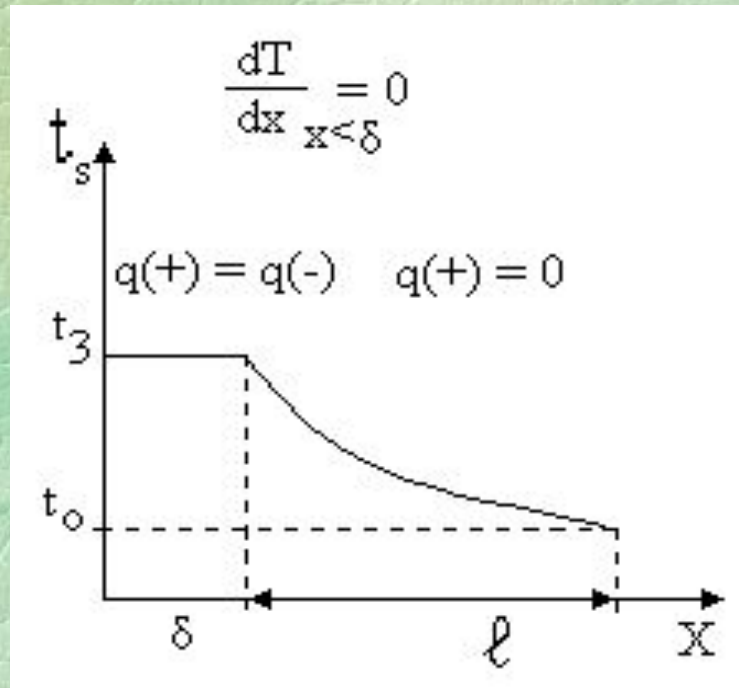
## 2. ЗАПАЛЮВАННЯ РОЗЖАРЕНИМ ТІЛОМ



При температурі стінки  $T_s$  суміш у пристінному шарі реагує з виділенням тепла, так що  $q(+)=q(-)$ , встановлюється стаціонарний стан.

При температурі стінки більшій, ніж  $T_s$ , суміш у пристінному шарі реагує з більшою швидкістю, так що  $q(+)>q(-)$ , внаслідок чого температура суміші підніметься вище за температуру

**Температура запалювання** - найменша температура нагрітого тіла, при якій виділення тепла в пристінному шарі горючої суміші компенсує тепловіддачу від цього шару в вихідну холодну горючу суміш.



Реакція з виділенням тепла йде у шарі газу товщиною  $\delta$ .

При  $x > \delta$   $\omega_{xp} = 0$ ,  $q(+)=0$ , при цьому температура газової суміші зменшується до  $T_0$  на відстані  $l$ .

Горіння виникає якщо в шарі товщиною  $\delta$   $dT/dx > 0$ .

**Критичною умовою запалювання є:**

$$(dT/dx)_{x<\delta} = 0$$

**Рівняння теплового балансу в пристінному шарі товщиною  $\delta$  :**

$$V_{гс} Q_{н} \omega_{хр} = -\lambda d^2T/dx^2$$

**Мінімальний розмір нагрітого тіла, при якому відбудеться запалювання:**

$$r_{дз} = \sqrt{\frac{E_{акт} \lambda (\dot{O}_{зап} - T_0)^2}{2Q_{н} w_{хр} R T_{зап}^2}}$$

# ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС ЗАПАЛЮВАННЯ:

- 1) вид горючої речовини,
- 2) склад горючої суміші,
- 3) умови, в яких знаходиться горюча суміш,
- 4) властивості самого джерела запалювання (нагрітого тіла).

## *Вид горючої речовини*

- теплотворна здатність:  $Q_H \uparrow$     $q(+)\uparrow$     $T_{\text{зап}} \downarrow$

- агрегатний стан:

найменша  $T_{\text{зап}}$  у горючих газів, найбільша - у твердих горючих матеріалів.

# Склад горючої суміші

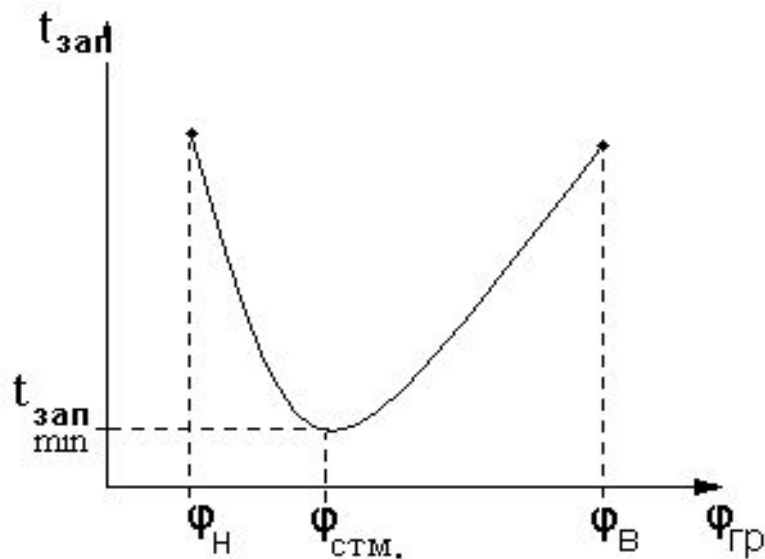
- концентрація кисню в окислювальному середовищі

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

- концентрація негорючих газів

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

- концентрація горючої речовини



$$\varphi_{\text{гр}} = \varphi_{\text{стм}} \quad T_{\text{зап}} = \text{min}$$

# Умови, в яких знаходиться горюча суміш

- початкова температура горючого середовища  $T_0$

$$T_0 \uparrow \quad q(-) \downarrow \quad T_{\text{зап}} \downarrow$$

- тиск, під яким знаходиться горюча суміш

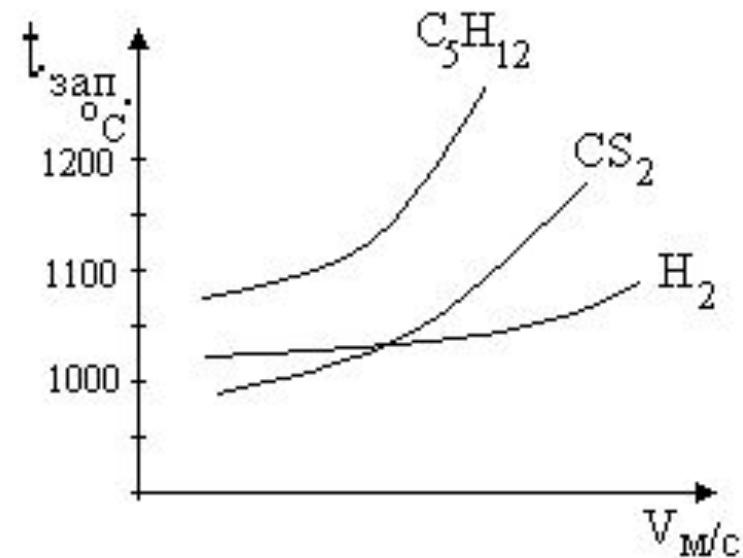
$$P \uparrow \quad W_{\text{хр}} \uparrow \quad q(+)\uparrow \quad T_{\text{зап}} \downarrow$$

- час контакту ДЗ з горючою сумішшю

$$\tau_{\text{конт}} \uparrow \quad T_{\text{зап}} \downarrow$$

- швидкість руху газової суміші

$$v_{\text{руху}} \uparrow \quad \alpha \uparrow \quad q(-)\uparrow \quad T_{\text{зап}} \uparrow$$



# *Властивості джерела запалювання*

- теплоємність матеріалу  $c_p$

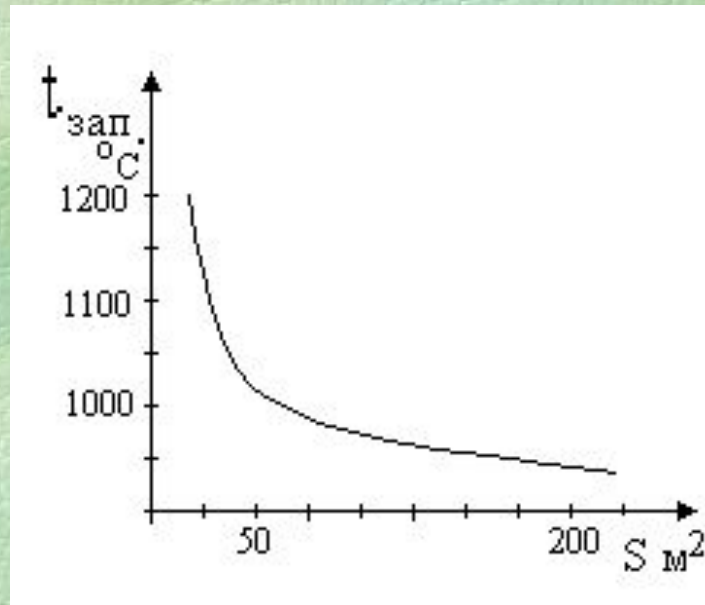
$$c_p \downarrow \quad T_{\text{зап}} \uparrow$$

- розміри нагрітого тіла

$$d_{\text{дз}} \uparrow \quad T_{\text{зап}} \downarrow$$

- загальна площа поверхні розжарених тіл

$$S \downarrow \quad T_{\text{зап}} \uparrow$$



**Фрикційні іскри** - шматочки металу, відірвані і нагріті при механічному впливі, частково окислені.

Кількість тепла, що віддається розжареною іскрою:

$$Q = m_{иск} c_{p иск} (T_{иск} - T_{сс.гр.})$$

де  $c_{p иск}$  - питома теплоємність матеріалу іскри;

$m_{иск}$  - маса іскри;

$T_{сс}$  - температура самоспалахування горючої речовини,

$T_{иск}$  - кінцева температура іскри.

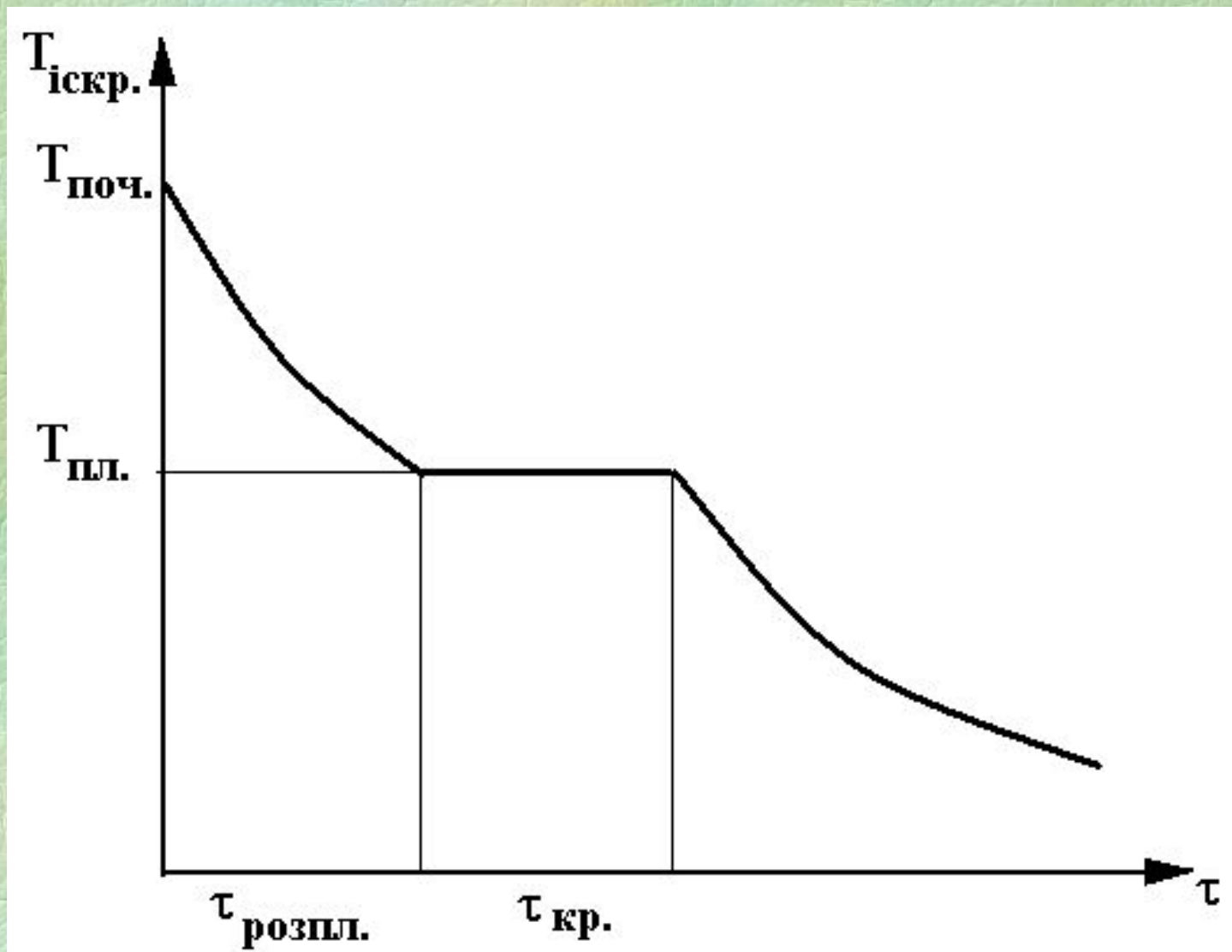
Якщо енергія іскри буде перевищувати мінімальну енергію запалювання даної горючої речовини, іскра є джерелом запалювання.



# Вихідні параметри іскор різного походження

Природа іскри	Розмір	Температура
іскри електрозварювальних робіт	5 мм	4000°C
іскри короткого замикання електропроводки	3 мм	2500°C
іскри топок і вихлопних труб двигунів	5 мм 3 мм 2 мм	600°C 800°C 1000°C
іскри механічного походження	0,5÷1 мм	$T_{пл}$ найбільш легкоплавкого металу

# Розподіл температури іскри з часом

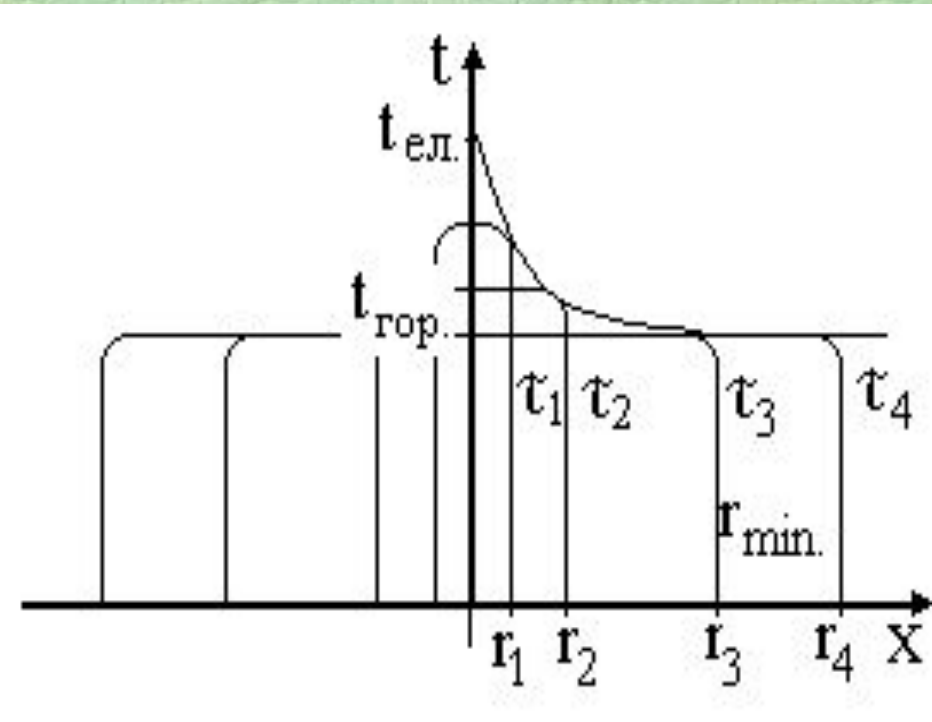
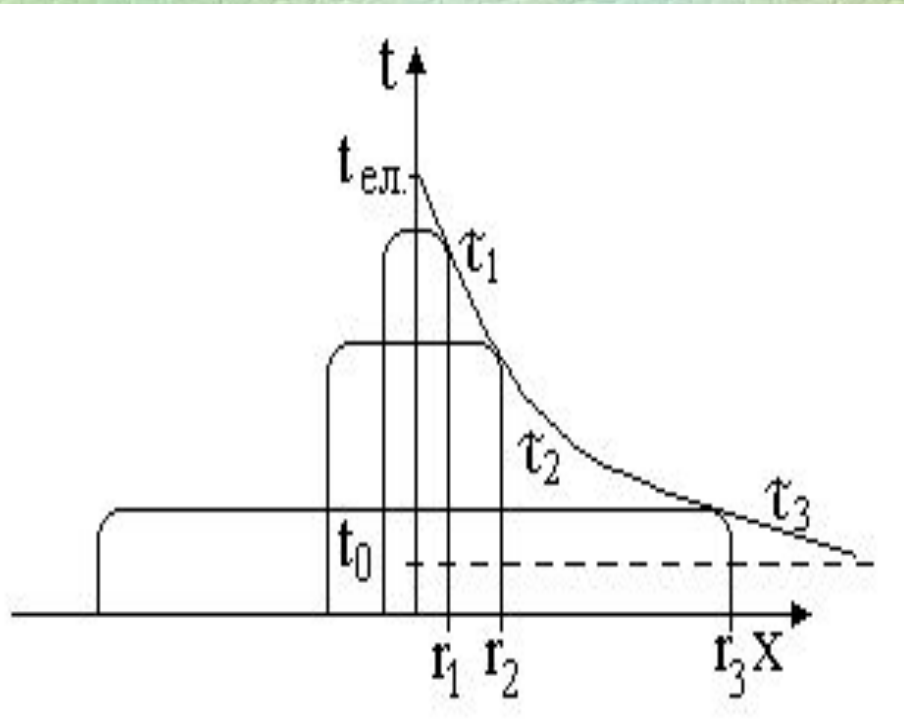


### 3. ЗАПАЛЮВАННЯ ГОРЮЧИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНИМИ РОЗРЯДАМИ

Теплові прояви електричної енергії:

- електричний розряд статичної електрики;
- електричний розряд атмосферної електрики (прямий та опосередкований вплив блискавки);
- електричні іскри, що виникають внаслідок короткого замикання, (дуга та краплі металу);
- нагрів поверхні ламп накаливання та електричних дротів і контактів при виникненні перевантажень.

# Розподіл температури при електричному розряді в інертному середовищі в ГС



$$q(+)> q(-)$$

$$q(+)=V_{\text{гс}} Q_{\text{н}} \omega_{\text{хр}}$$

$$V_{\text{гскр}} = \frac{4}{3} \pi r_{\text{min}}^3$$

$$r_{\text{min}} = 3,7 \delta_{\text{фп}} = 3,7 \frac{\lambda}{\rho c_p u_{\text{н}}}$$

$E_{min}$  - мінімальна енергія електричного розряду, яка забезпечує нагрівання від  $T_0$  до  $T_{гор}$  об'єму газу, радіус якого рівний  $r_{min}$ .

$$E_{min} = \frac{\lambda^3 (T_r - T_0)}{u_n \rho c_p}$$

*Мінімальна енергія запалювання* газу, пари або аерозолю речовини в повітрі - найменша енергію конденсатора, при розряді якого через повітряний проміжок виникає іскра, яка запалює стехіометричну суміш даної речовини і повітря з імовірністю **0,01**.

*Безпечним* є розряд електрики з енергією:

$$E_{без} < 0,4 E_{min}$$

# Мінімальна підпалююча енергія іскри залежить від:

- ◆ виду горючої речовини,
- ◆ складу горючої суміші,
- ◆ умов, в яких знаходиться система (тиск, температура, швидкість руху газового середовища),
- ◆ часу впливу на горючу суміш.

## ● Вид горючої речовини

### *природа горючої речовини*

$E_{min}$  водню = 0,017 мДж,

$E_{min}$  етану = 0,24 мДж,

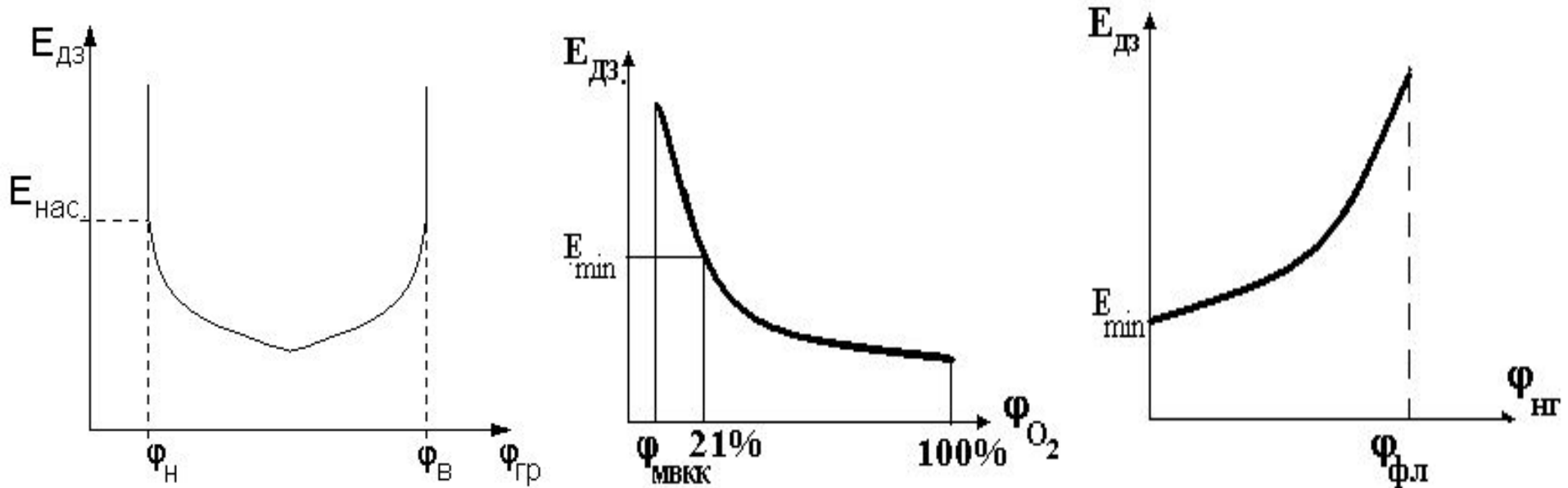
$E_{min}$  аміаку = 680 мДж.

$E_{min}$  парафінових вуглеводнів >  $E_{min}$  етиленових >  
 $E_{min}$  ацетиленових вуглеводнів

### *агрегатний стан горючої речовини*

$E_{min}$  твердих ГР >  $E_{min}$  рідин >  $E_{min}$  газів

# ● Склад горючої суміші.



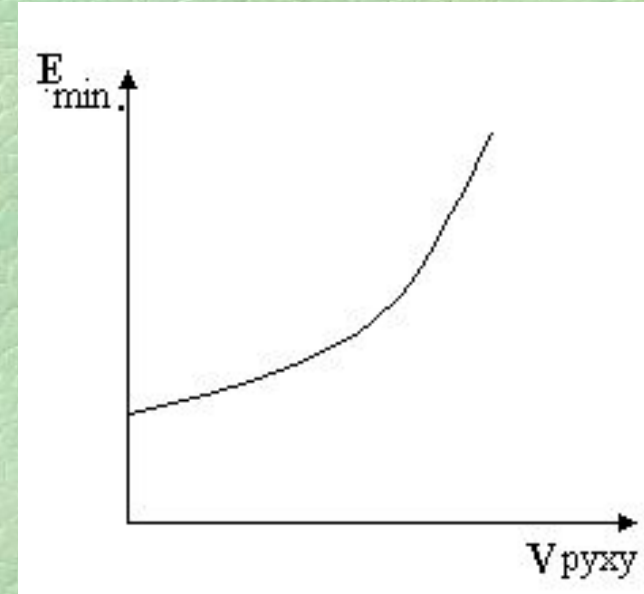
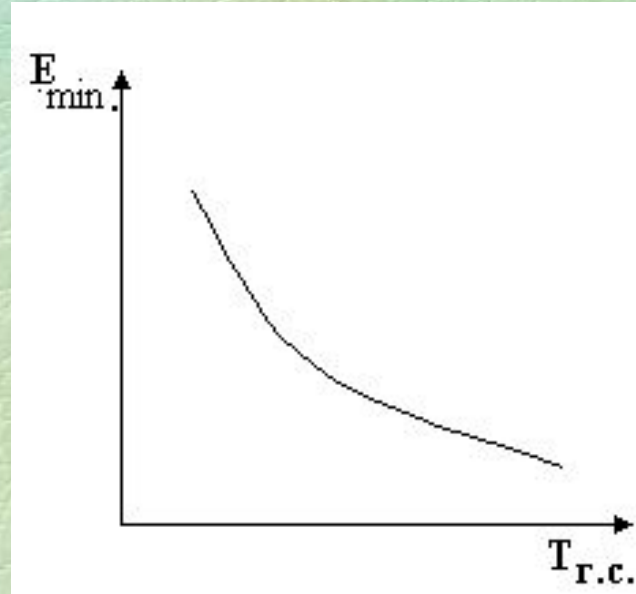
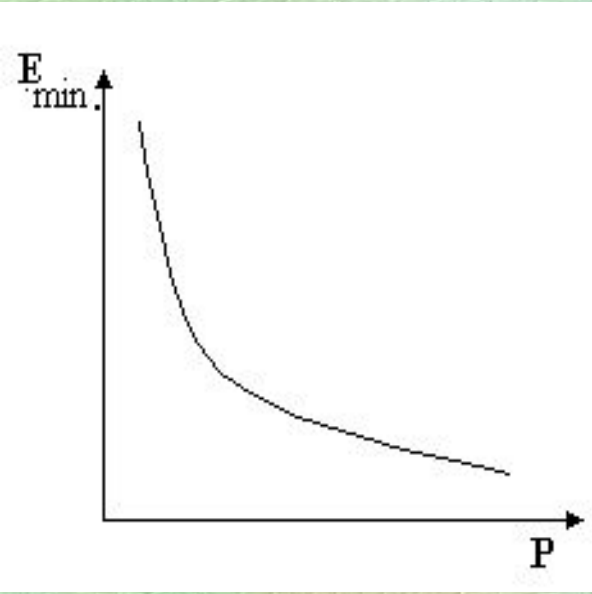
$E_{дз} = E_{min}$  при  $\phi_{гр} = \phi_{стм}$

$E_{min}$  метан - повітря = 0,42 мДж,

$E_{min}$  метан - кисень = 0,004 мДж



# • Умови, в яких знаходиться горюча суміш



$E_{min}$  метан - повітря ( $P = 100$  кПа) = 0,42 мДж,

$E_{min}$  метан - повітря ( $P = 10$  кПа) = 25 мДж

# *Час впливу розряду на горючу суміш*

$$E_{min} \downarrow \quad \tau_{\text{впливу}} \uparrow$$

Електричні розряди різної потужності і різної тривалості можуть бути рівноцінними при запаленні, якщо їх енергія однакова.

## Розрахунок мінімальної енергії запалювання:

$$\frac{E_{\min 1}}{E_{\min 2}} = \frac{u_{H_2}^2}{u_{H_1}^2}$$

де  $E_{\min 1}$ ,  $E_{\min 2}$  – мінімальна енергія запалювання речовин 1 і 2;

$u_{H_1}$ ,  $u_{H_2}$  – нормальна швидкість поширення горіння речовин 1 і 2.

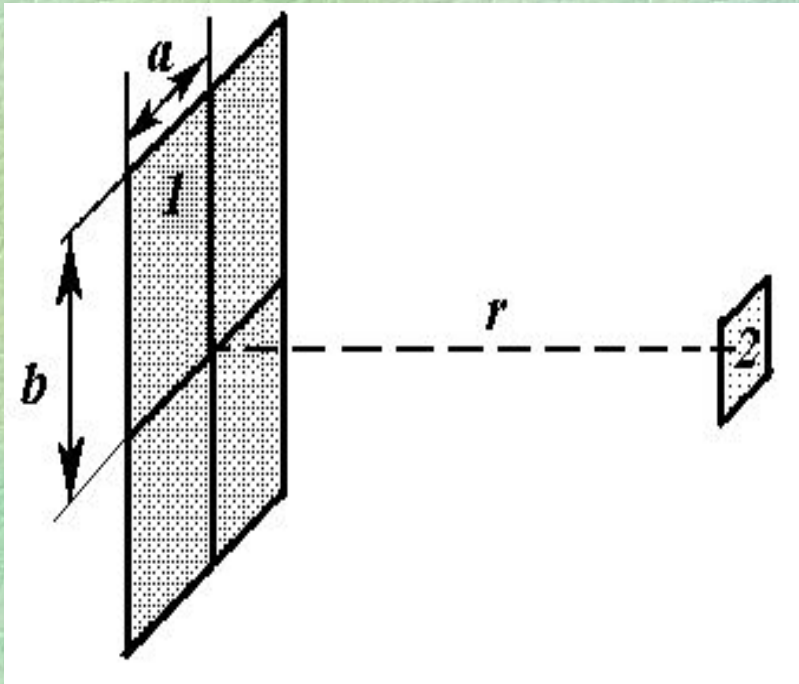
Стандартна речовина - нормальний бутан

$$E_{\min} = 0,25 \text{ мДж, а } u_H = 0,379 \text{ м/с.}$$

Мінімальна енергія запалювання інших речовин в повітрі за стандартних умов:

$$E_{\min} = \frac{0,036}{u_H^2}$$

## 4. Підпалювання горючих речовин променистим потоком від полум'я.



$$q = \varepsilon \sigma (T_{\text{пол}}^4 - T_{\text{сс}}^4) \Psi$$

$$t(\tau) = t_0 + 2 \cdot \frac{q_{\text{пром}}}{\lambda} \sqrt{\frac{a_t \tau}{\pi}}$$

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{\pi \lambda^2 (t_{\text{кр}} - t_0)^2}{4 a_t q_{\text{пром}}^2}$$

# Критична густина теплового потоку $q_{кр}$ залежно від часу опромінення для різних речовин

Речовина	$q_{кр}$ за тривалості опромінення, кВт · м <sup>-2</sup>		
	3 хв.	5 хв.	15 хв.
деревина	18,8	16,9	13,9
торф	16,6	14,3	9,8
бавовна	11,0	9,7	7,5
пластик	21,6	19,1	15,4
гума	22,6	19,2	14,8
вугілля	—	35,0	35,0

# Завдання на самопідготовку:

Вивчити матеріал

1. Демидов, Шандыба, Щеглов:- Горение и свойства горючих веществ, стор. 65-67.
2. Демидов, Саушев. Горение и свойства горючих веществ, стор. 131-151.