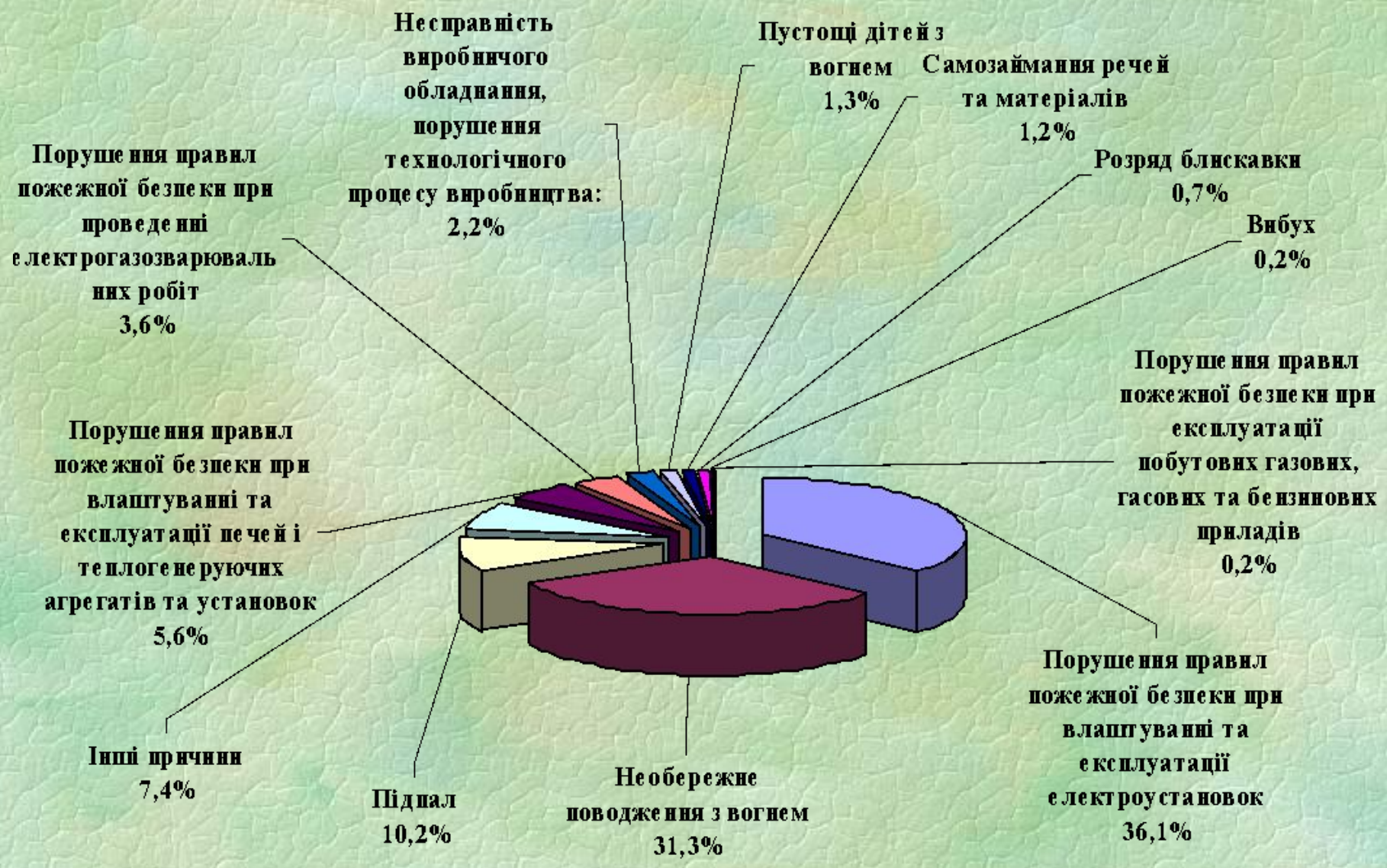
Розділ ІІ.
ВИНИКНЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

Тема 6.
ВИМУШЕНЕ ЗАПАЛЮВАННЯ ГОРЮЧИХ СИСТЕМ

Лекція 7
ЗАПАЛЮВАННЯ НАГРІТИМ ТІЛОМ ТА ЕЛЕКТРИЧНИМ РОЗРЯДОМ


Несправність виробничого обладнання, порушення технологічного процесу виробництва: 2,2%
Пустощі дітей з вогнем 1,3%
Самозаймання речей та матеріалів 1,2%
Розряд блискавки 0,7%
Вибух 0,2%
Порушення правил пожежної безпеки при проведенні електрогазозварювальних робіт 3,6%
Порушення правил пожежної безпеки при експлуатації побутових газових, гасових та бензинових приладів 0,2%
Порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації печей і теплогенеруючих агрегатів та установок 5,6%
Порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок 36,1%
Інші причини 7,4%
Підпал 10,2%
Необережне поводження з вогнем 31,3%

Причина пожежі	Пожеж, од.	Загину-ло, осіб	Зб. прямі, 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 конвек-цією 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.

$$q(-)_{зап} > q(-)_{сс}.$$

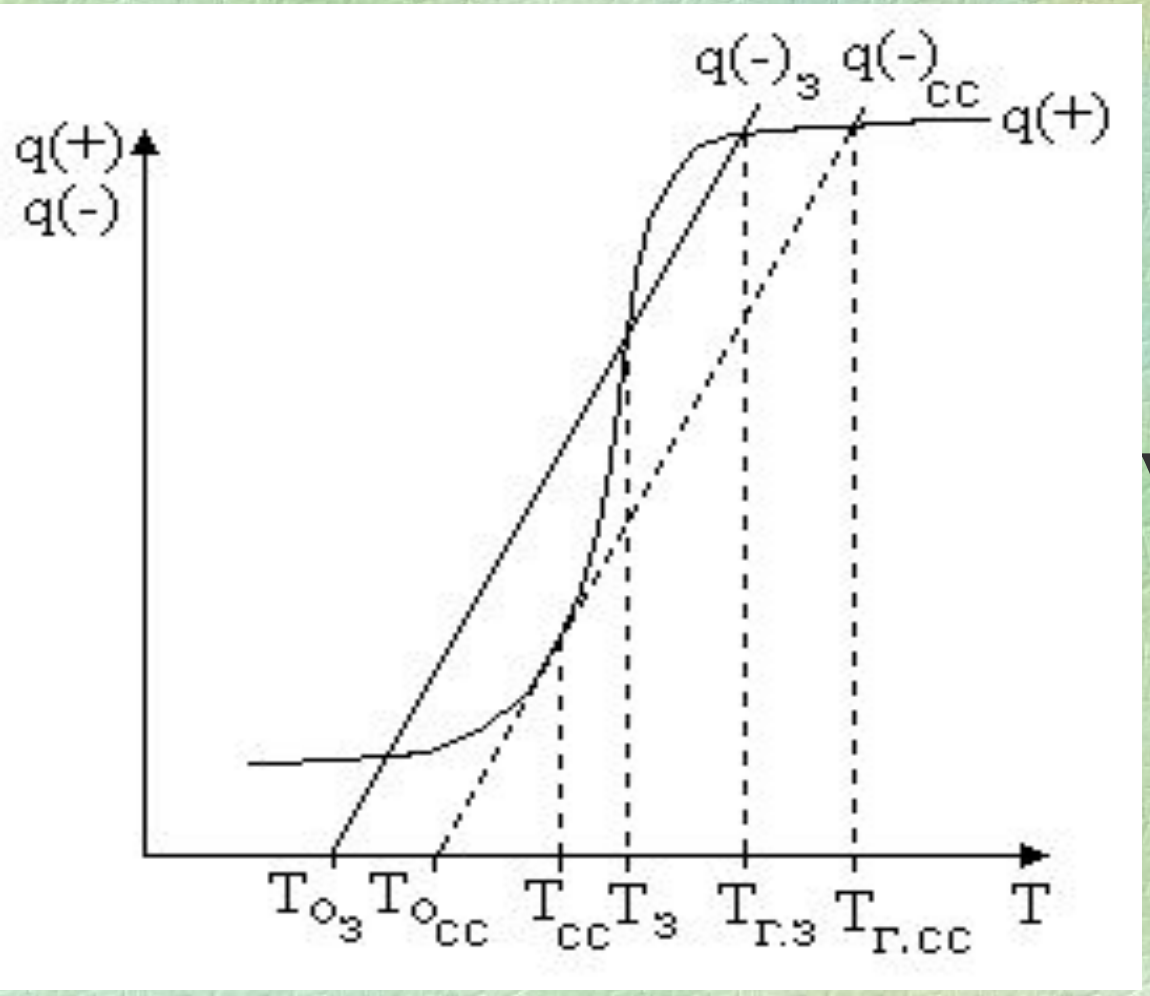
4. Для перевищення **q(+)** над **q(-)** необхідно при **ВЗ** збільшити температуру, до якої нагрівається частка холодної ГС. Отже, при **ВЗ** відбувається локальний нагрів ГС до критичної температури - ***температури запалювання*** $\mathbf{t_{зап}}$, більшої, ніж $\mathbf{t_{сс}}$

$$\mathbf{t_{зап} > t_{сс}}$$

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** $\boldsymbol{\tau_{інд}}$ 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.

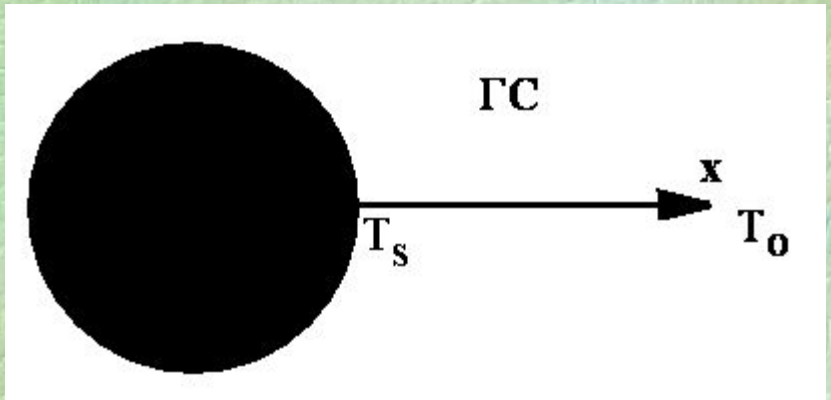
$$t_{гор}(зап) < t_{гор}(сс)$$

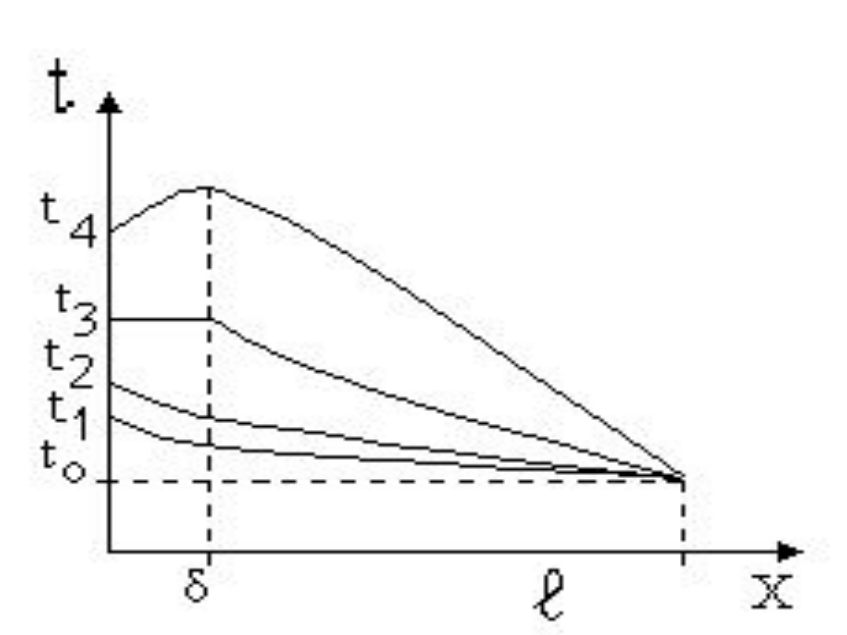


$$q(+) = q(-)$$

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

2. ЗАПАЛЮВАННЯ РОЗЖАРЕНИМ ТІЛОМ

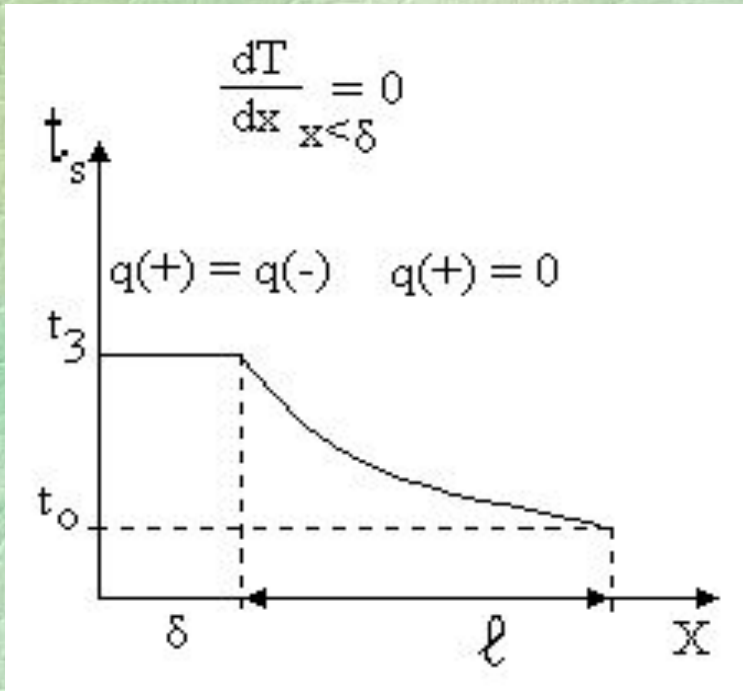




При температурі стінки T_3 суміш у пристінному шарі реагує з виділенням тепла, так що **q(+) = q(-)**, встановлюється стаціонарний стан.

При температурі стінки більшій, ніж T_3, 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 **δ**.

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

Горіння виникає якщо в шарі товщиною **δ** **dT/dx>** 0.

Критичною умовою запалювання є:

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

Рівняння теплового балансу в пристінному шарі товщиною **δ** :

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

Мінімальний розмір нагрітого тіла, при якому відбудеться запалювання:

$$r_{ДЗ} = \sqrt{\frac{E_{акт} \lambda (Ò_{зап} - T_o)^2}{2 Q_н w_{хр} R T_{зап}^2}}$$

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: $\mathbf{Q_н} \uparrow$ $\mathbf{q(+)} \uparrow$ $\mathbf{T_{зап}} \downarrow$
- агрегатний стан:

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

Склад горючої суміші

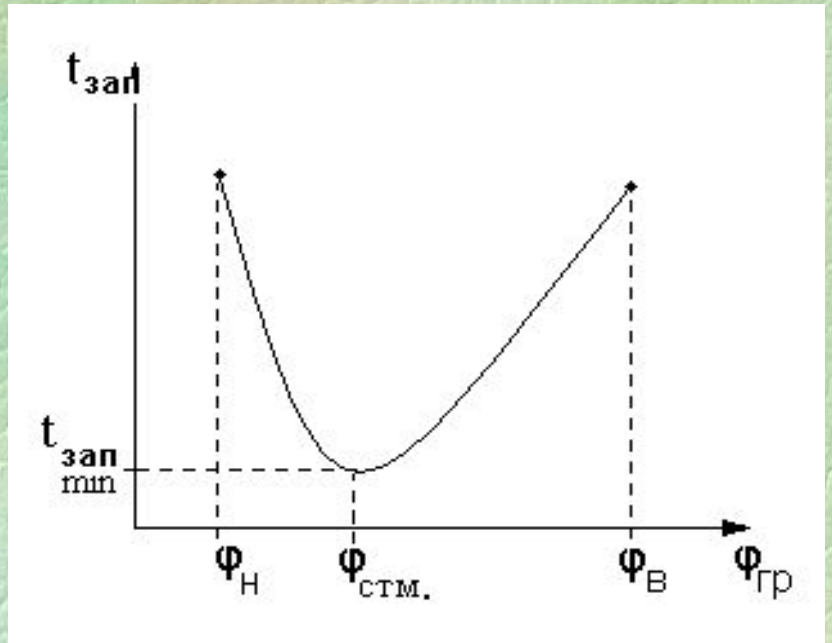
- концентрація кисню в окислювальному середовищі

$$\varphi_{O2}\uparrow \qquad \omega_{хр}\uparrow \qquad q(+)\uparrow \qquad T_{зап}\downarrow$$

- концентрація негорючих газів

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

- концентрація горючої речовини



$$\varphi_{гр} = \varphi_{стм} \qquad T_{зап} = min$$

Умови, в яких знаходиться горюча суміш

- початкова температура горючого середовища T_0

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

- тиск, під яким знаходиться горюча суміш

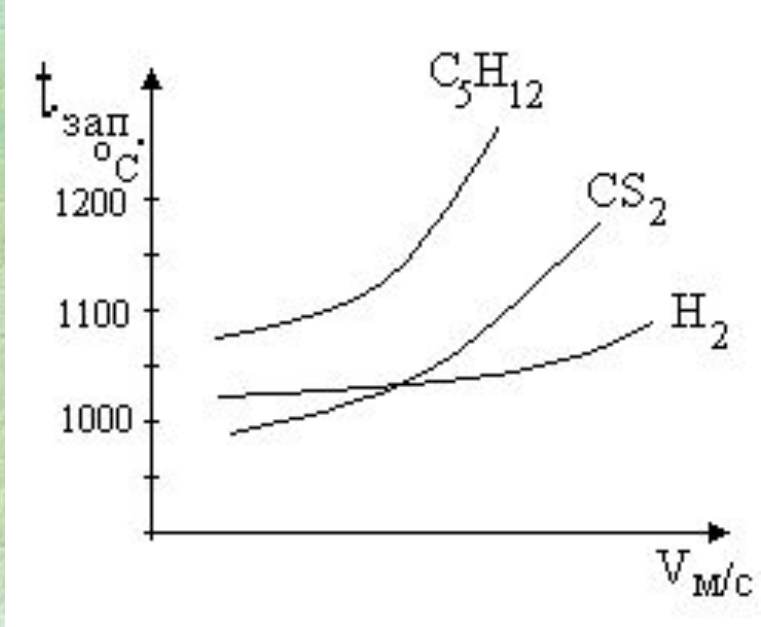
$$P \uparrow \quad W_{хр} \uparrow \quad q(+) \uparrow \quad T_{зап} \downarrow$$

- час контакту ДЗ з горючою сумішшю

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

- швидкість руху газової суміші

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



Властивості джерела запалювання

- теплоємність матеріалу $c_р$

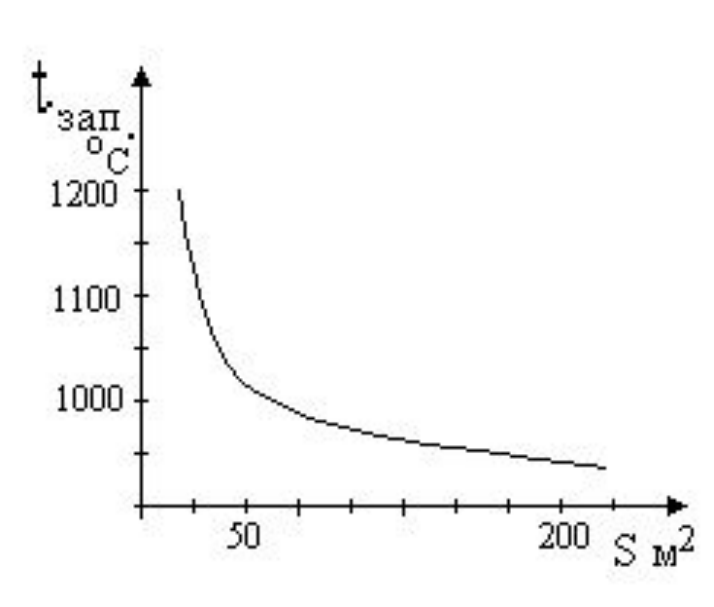
$$c_р \downarrow \qquad T_{зап} \uparrow$$

- розміри нагрітого тіла

$$d_{дз} \uparrow \qquad T_{зап} \downarrow$$

- загальна площа поверхні розжарених тіл

$$S \downarrow \qquad T_{зап} \uparrow$$



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

Кількість тепла, що віддається розжареною іскрою:

$$Q = m_{іск}\ c_{р\ іск}\ (T_{іск} - T_{сс\ гр.})$$

де $c_{р\ іск}$ - питома теплоємність матеріалу іскри;

$m_{іск}$ – маса іскри;

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

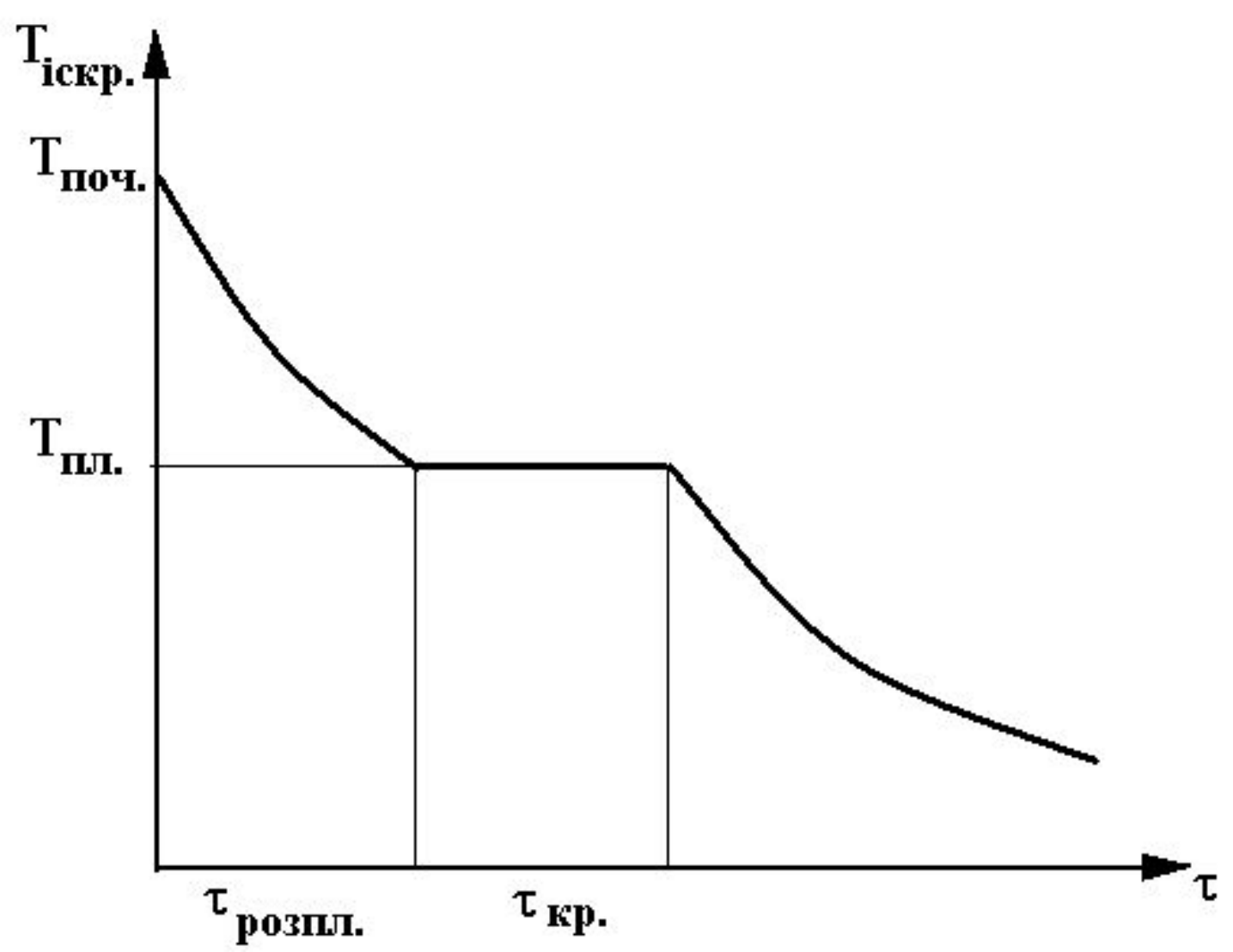
$T_{іск}$ - кінцева температура іскри.

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

Розподіл температури іскри з часом

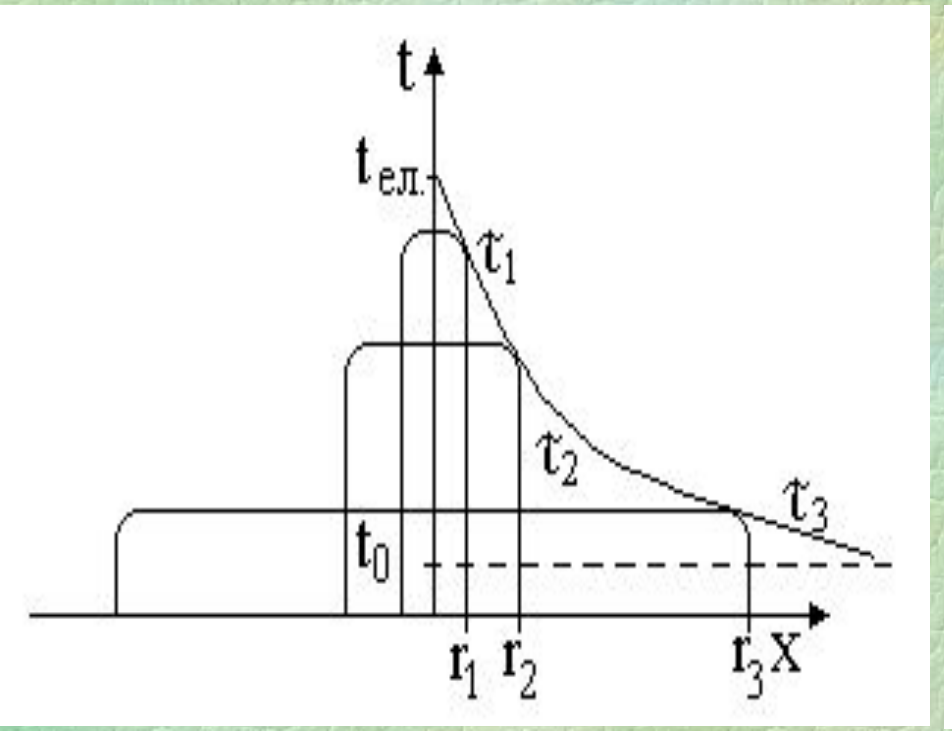


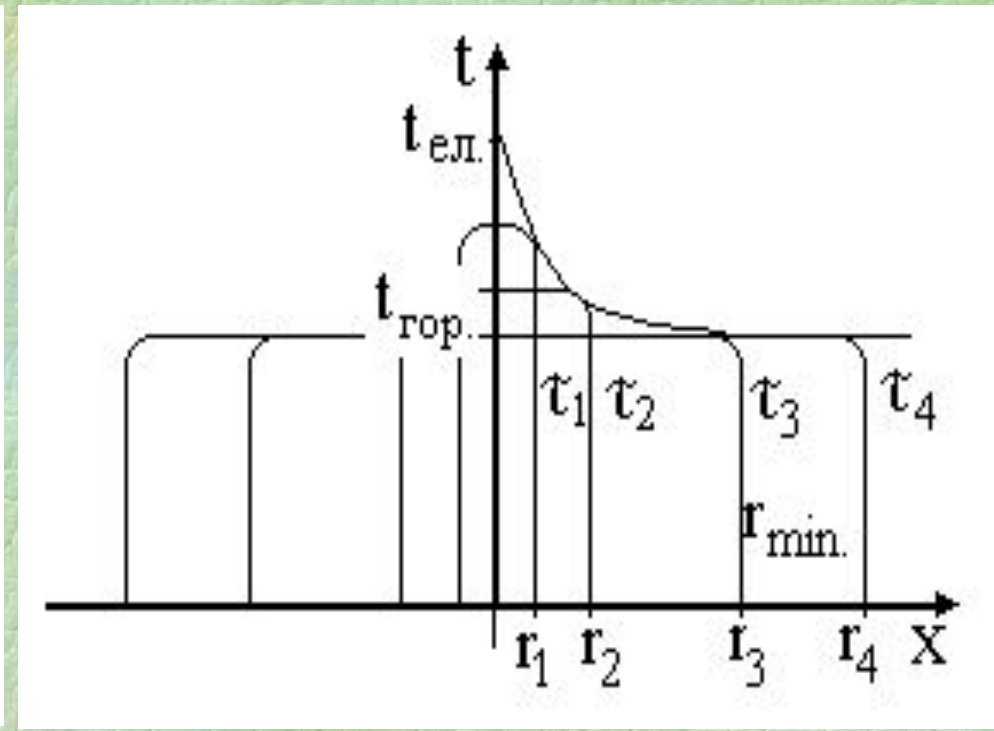
3. ЗАПАЛЮВАННЯ ГОРЮЧИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНИМИ РОЗРЯДАМИ

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 накалювання та електричних дротів і контактів при виникненні перевантажень.

Розподіл температури при електричному розряді в інертному середовищі в ГС





$q(+) > q(-)$ $\quad q(+)=V_{гс}Q_{н}\omega_{хр}$ $\quad V_{гс_{кр}} = \frac{4}{3}\pi r_{min}^{3}$

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

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

$$E_{min} = \frac{\lambda^3 (T_г - T_o)}{u_н^3 \rho^2 c_p^2}$$

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,

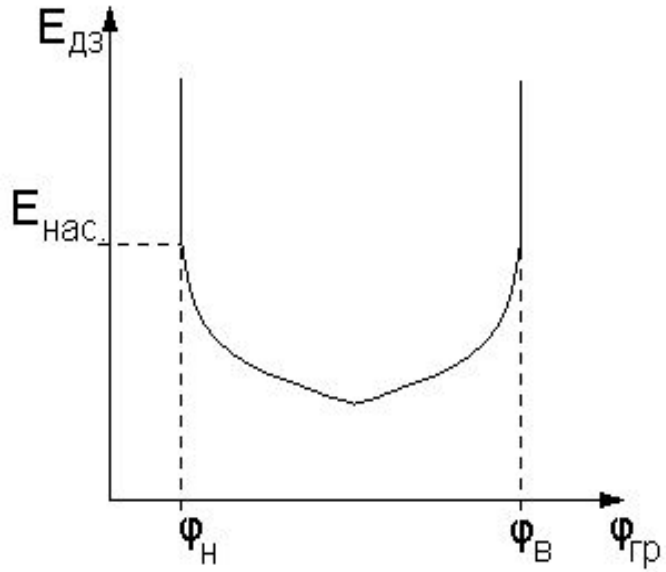
E_{min} аміаку = 680 мДж.

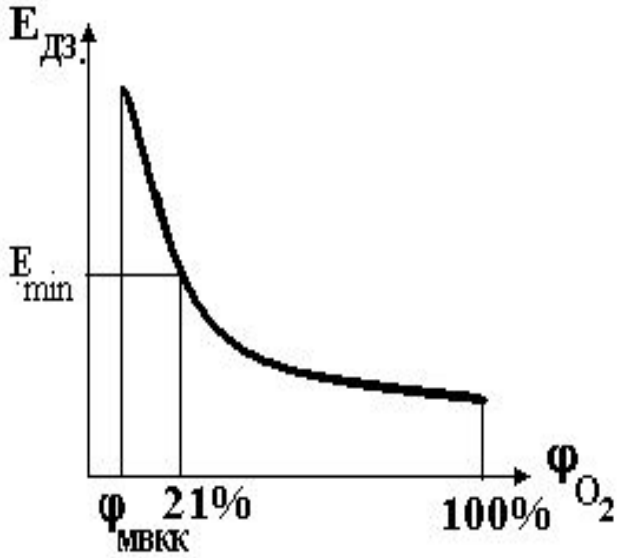
E_{min} парафінових вуглеводнів > E_{min} етиленових > E_{min} ацетиленових вуглеводнів

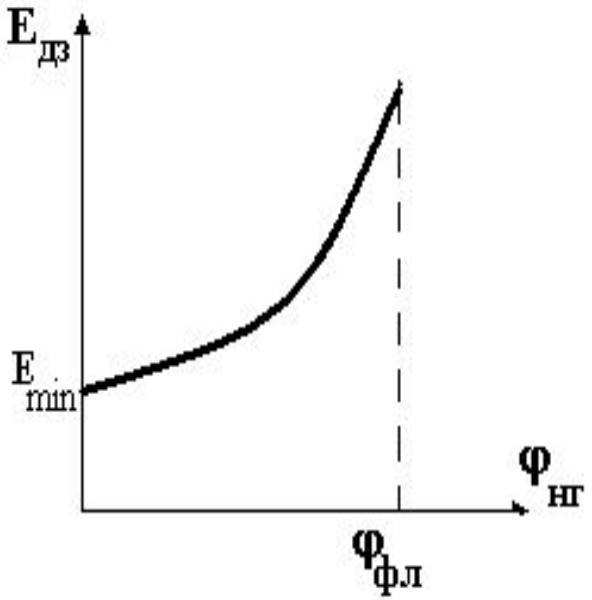
агрегатний стан горючої речовини

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

Склад горючої суміші.





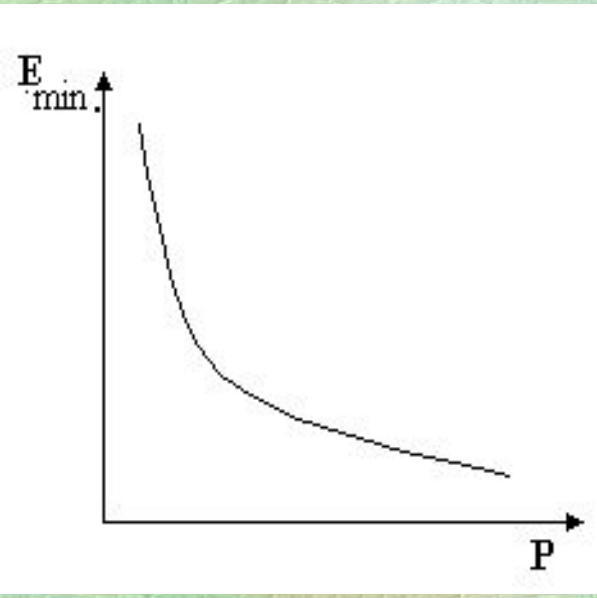


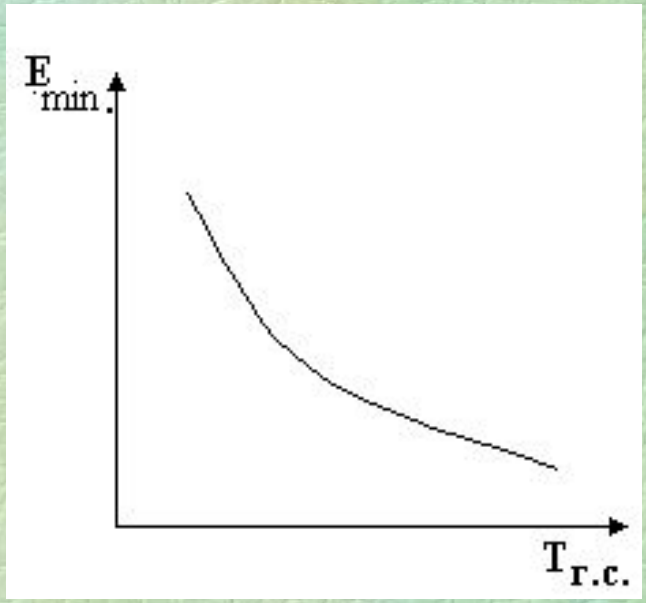
$E_{дз} = E_{min}$ при $\phi_{гр} = \phi_{стм}$

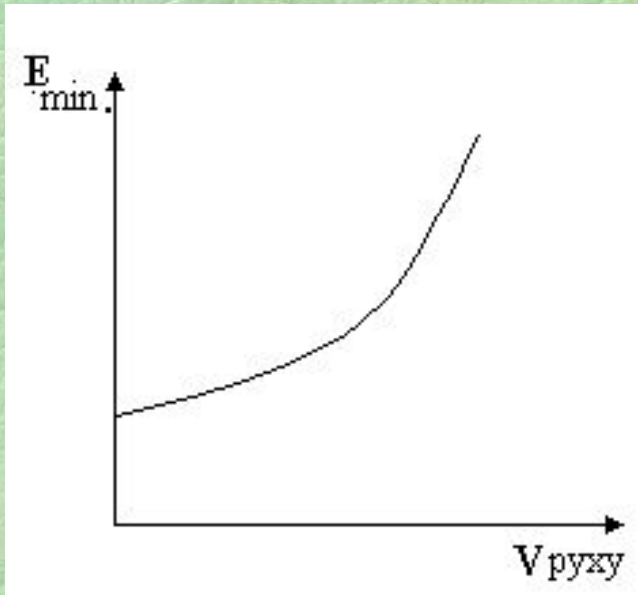
E_{min} метан - повітря = 0,42 мДж,

E_{min} метан - кисень = 0,004 мДж

•*Умови, в яких знаходиться горюча суміш*







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

E_{min} метан - повітря (Р = 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:

$$\frac{E_{min_1}}{E_{min_2}} = \frac{u_{н_2}^2}{u_{н_1}^2}$$

де E_{min1}, E_{min2} – мінімальна енергія запалювання речовин 1 і 2;

$u_{н1}$, $u_{н2}$ – нормальна швидкість поширення горіння речовин 1 і 2.

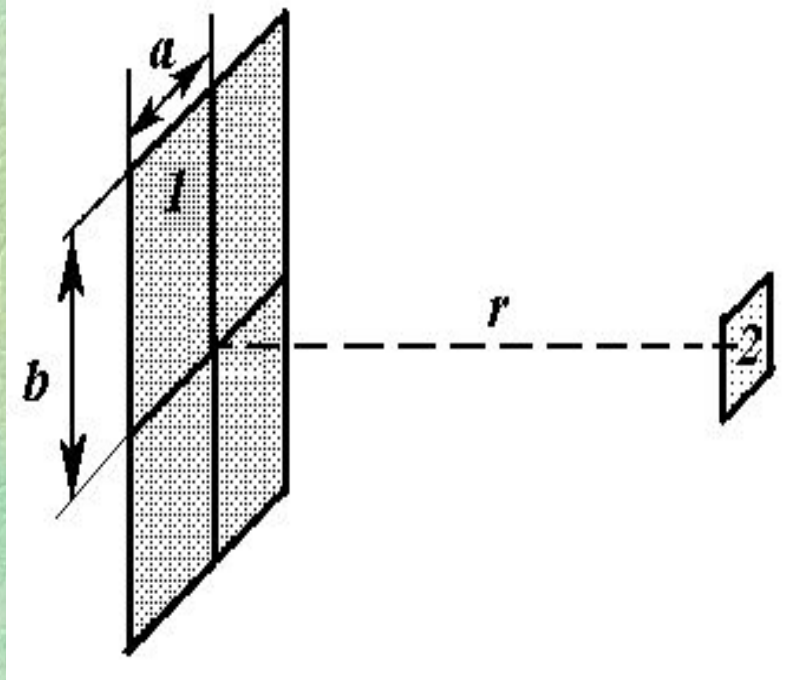
Стандартна речовина - нормальний бутан

E_{min} **= 0,25 мДж, а** $u_н$ **= 0,379 м/с.**

Мінімальна енергія запалювання інших речовин в повітрі за стандартних умов:

$$E_{min} = \frac{0{,}036}{u_н^2}$$

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



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

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

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

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

Речовина	$q_{кр}$ за тривалості опромінення, $кВт \cdot м^{-2}$		
	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.