

# ТЕОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ПРИШИНЕННЯ ГОРІННЯ

# Стан із пожежами в Україні за 11 місяців 2018 року

|                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| Кількість пожеж           | - 56343                          |
| Збитки прямі              | - 619 млн. 214 тис. грн.         |
| Збитки побочні            | - 2 млрд. 32 млн. 116 тис. грн.  |
| Загинуло людей            | - 2049 людей, зокрема 61 дитина; |
| Травмовано                | - 1352 людини                    |
| Знищено будівель і споруд | - 11 881 одиниця                 |
| Знищено техніки           | - 1 593 одиниці.                 |

## У середньому в Україні щодня

- виникало 169 пожеж,
- гинуло 6 та було травмовано 4 людей,
- знищувалося вогнем 59 будівель і споруд, 59 одиниць техніки,
- матеріальні втрати від пожеж сягали біля 8 млн. грн.

# Предмет складається з п'яти розділів:

1. Основи процесів горіння.
2. Виникнення процесів горіння.
3. Розвиток процесів горіння.
4. Фізико-хімічні основи розвитку пожеж.
5. Запобігання та припинення процесів горіння.

# Рекомендована література:

1. Теорія розвитку та припинення горіння: Практикум в 2 частинах / Тарахно, Трегубов, Жернокльов
2. Тарахно, Жернокльов, “Лабораторний практикум з курсу ТРтаПГ” / Тарахно, Жернокльов, Баланюк
3. Методичні вказівки до вивчення курсу ТРтаПГ.
4. Корольченко, Баратов. 'Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и способы их тушения'. Справочник в 2 томах;
5. Демидов, Саушев “Горение и свойства горючих веществ”.
6. Електронний підручник з дисципліни "Теорія розвитку та припинення горіння"/ Тарахно О.В., Жернокльов К. В., Трегубов Д.Г.

# **Розділ І**

# **ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ**

## **Тема 1**

### **Загальні відомості щодо процесів горіння та вибуху**

#### **Лекція 1**

### **Класифікація процесів горіння та вибуху**

# План лекції

1. Сутність процесів горіння та вибуху.
2. Класифікація процесів вибуху.
3. Класифікація процесів горіння.
4. Особливості складання рівнянь реакції горіння.

# **1. СУТНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ ТА ВИБУХУ**



**Вибух** – це фізичне чи хімічне перетворення речовини, що супроводжується швидким переходом її енергії в енергію стиснення і руху вихідної речовини, продуктів її перетворення і навколишнього середовища.

***Явище вибуху включає дві стадії:***

- перетворення вихідної потенційної енергії того чи іншого виду в енергію нагрітих стиснутих газів;
- розширення стиснутих газів, що переходить у механічну роботу (енергію руху, стиснення, розігріву середовища).

Частина енергії залишається у вигляді внутрішньої (теплової) енергії газів, що розширилися.

**Перетворення вихідної  
потенціальної енергії  
речовини**



**Енергія нагрітих  
стиснутих газів**



**Розширення газів**



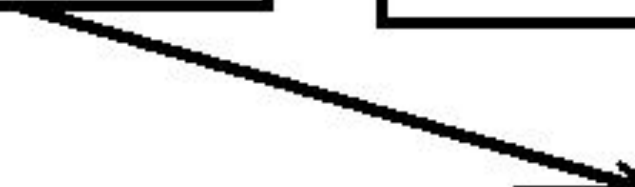
**Внутрішня енергія  
розширених газів**



**Енергія руху**

**Енергія стиснення**

**Енергія розігріву  
середовища**



**ВИБУХ**

У результаті вибуху речовина перетворюється в сильно нагрітий газ (плазму) з дуже високим тиском (до декількох сотень тисяч атмосфер).

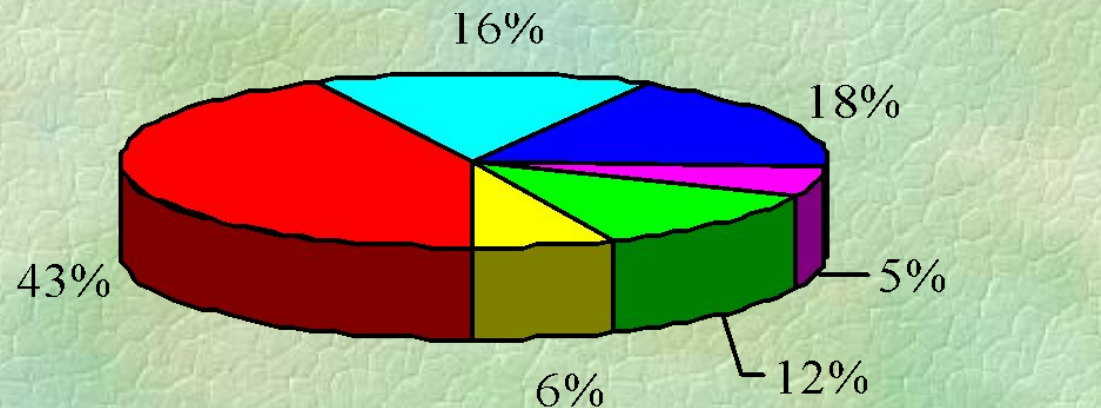
Вибух у твердому середовищі супроводжується руйнуванням і дробленням (бризантна дія вибуху), у водному середовищі - утворенням гідравлічної хвилі, а у повітряному - повітряної ударної хвилі, які впливають на об'єкти.

**Вибухова хвиля** - це рух середовища, породжене вибухом, при якому відбувається різке підвищення тиску, густини й температури середовища.

Фронт (передня границя) вибухової хвилі поширюється по середовищу з великою швидкістю, у результаті чого область, що охоплена рухом, швидко розширюється. У міру збільшення відстані від місця вибуху механічний вплив вибухової хвилі слабшає.

Технологічна система є вибухонебезпечною, якщо вона має запас потенційної енергії, яка вивільняється з настільки великою швидкістю, що може *генерувати повітряну ударну хвилю*, здатну викликати руйнування або ураження людей.

Більше 90 % вибухів пов'язано з процесом *горіння* певних речовин та матеріалів і подальшим виникненням *пожежі*.



■ углеводневі гази

■ водень

■ конденсовані нестабільні речовини

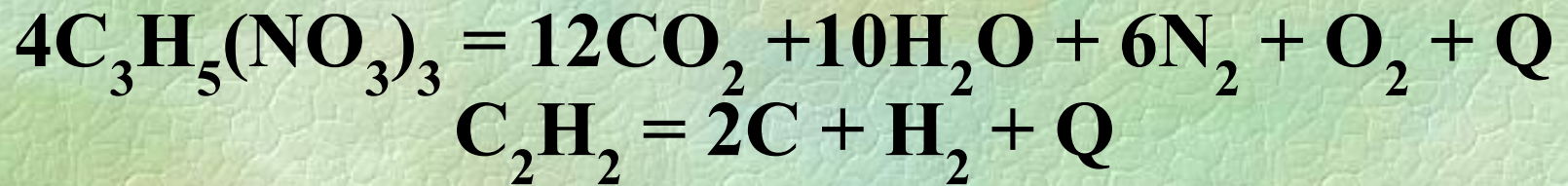
■ пар и легкозаймистих рідин

■ пил органічних сполук

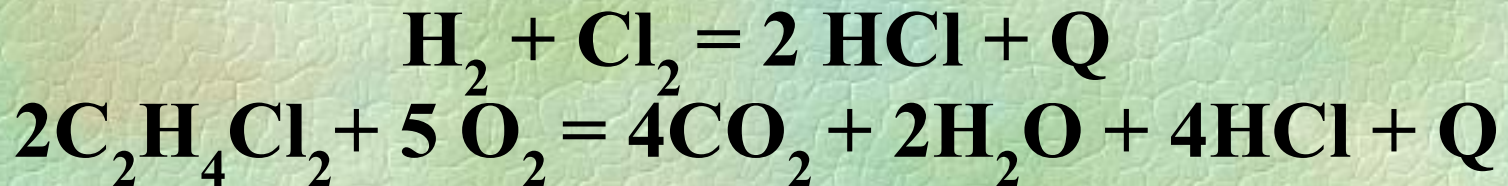
■ інші

**Горіння** — це складний фізико-хімічний процес, основою якого є швидка реакція окислення, що супроводжується інтенсивним виділенням енергії у вигляді тепла та світлового випромінювання.

Внутрішньомолекулярні реакції:



Міжмолекулярні реакції:



**Горіння** — це реакція, при якій горючі речовини і матеріали під впливом високих температур вступають у хімічну взаємодію з киснем повітря, перетворюючись у продукти горіння з виділенням значної кількості тепла.

## **ХАРАКТЕРНІ ОЗНАКИ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ:**

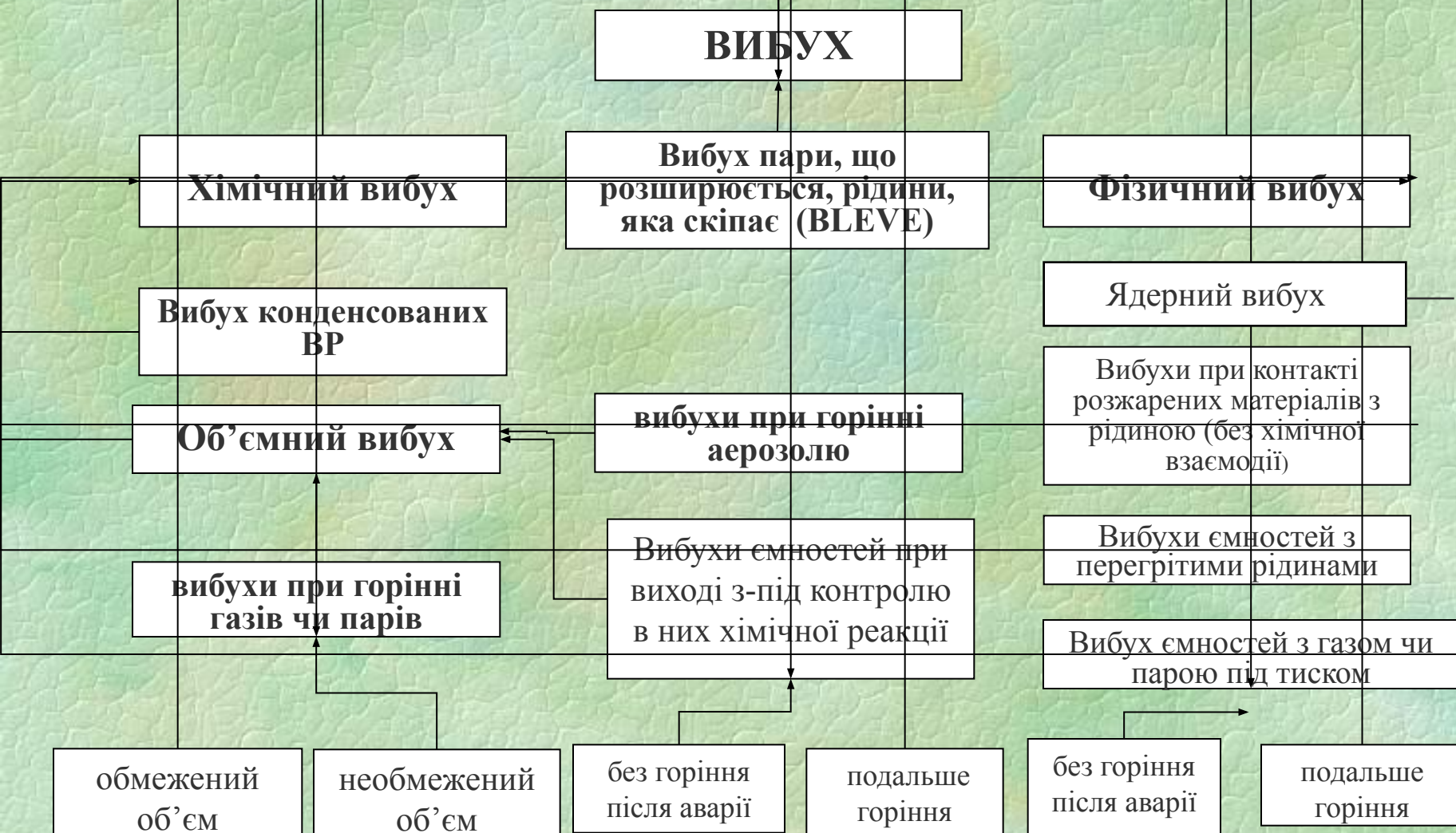
- велика швидкість хімічного перетворення (реакції окислення);
- виділення достатньої кількості тепла;
- здатність до самостійного підтримування процесу, тобто до самопоширення.

# УМОВИ ВИНИКНЕННЯ ГОРІННЯ:

- наявність горючої системи (горючої речовини та окисника в певному співвідношенні);
- вплив на горючу систему теплового імпульсу достатньої потужності.

## 2. КЛАСИФІКАЦІЯ ВИБУХІВ

Залежно від виду енергоносіїв і умов енерговиділення вибухи можуть бути хімічними, фізичними і фізико-хімічними.



Джерелом *хімічного вибуху* являються швидкі реакції горіння, що самостійно прискорюються, або реакції термічного розкладання нестабільних сполук (ацетилен, етилен схильні до розкладання за відсутності окисника).

Енергоносіями хімічних вибухів можуть бути тверді, рідкі, газоподібні горючі речовини, а також аерозолі горючих речовин (рідких і твердих) в окисному середовищі (у повітрі).

Вибухи газопароповітряних і пилоповітряних сумішей утворюють клас *об'ємних вибухів*.

*Вибух фізичний* пов'язаний зі зміною фізичного стану речовини, що супроводжується швидким виділенням енергії і утворенням стиснених газів. Не супроводжуються хімічними перетвореннями з виділенням тепла та утворенням продуктів реакції.

Фізичні вибухи проходять за рахунок вивільнення

- *внутрішньої ядерної енергії* внаслідок протікання ланцюгових ядерних реакцій (ядерний вибух),
- *електромагнітної енергії* (іскровий розряд),
- *енергії стиснених газів* (при перевищенні тиску газу в посудині межі міцності цієї посудини);
- *енергії фазового переходу* при контакті розжарених тіл з рідиною або змішуванні гарячої й холодної рідин, коли температура однієї з них значно перевершує температуру кипіння іншої (випаровування протікає вибуховим образом).

**Фізико-хімічний вибух** - вибух *парів, які розширюються, рідини, що скипає* - BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion - взрив расширяющихся паров вскипающей жидкости). Можливий для ємностей, що містять горючий зріджений газ або легкокиплячу рідину під тиском, які піддаються зовнішньому нагріванню.

При потраплянні замкнутого резервуара у вогнище пожежі відбувається нагрівання вмісту резервуара до  $T \gg T_{\text{кип}}$  з відповідним підвищенням тиску.

За рахунок нагрівання незмочених стінок посудини зменшується межа їх міцності, у результаті чого за певних умов відбувається розрив резервуара внаслідок *фізичного вибуху* і наступний за цим *хімічний вибух* горючої суміші, яка утворюється при виході у навколишнє середовище.

## ***BLEVE відбувається в три етапи:***

- газова фаза звільняється із ємності через запобіжний клапан або пошкодження в стінках резервуару, створюючи хвилю тиску зовні посудини; тиск усередині посудини різко падає;
- рідка фаза, яка була стиснута та значно перегріта у попередній момент часу, активно об'ємно скипає, щоб компенсувати дане падіння тиску; кількість газу, що вивільняється, переповняє посудину, газ не встигає вийти через отвір, який утворився, відбувається повне руйнування посудини, створюється друга хвиля тиску потужніша, ніж перша, - ударна хвиля, що супроводжується розкиданням металевих осколків;
- газ вивільняється з посудини й змішується з повітрям; у випадку якщо газ горючий, виникає горіння, утворюється “вогнена куля”.

# **3. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ**



# ***1. За агрегатним станом компонентів горючої суміші в зоні горіння***

**◆гомогенне**

**◆ гетерогенне**

- **гомогенне** - горіння, коли компоненти горючої суміші в зоні горіння знаходяться в однаковій фазі,

$$\omega_{\text{хр}} = k_o \varphi_{\text{Гр}}^n \varphi_{\text{ок}}^m \exp\left(\frac{-E_{\text{акт}}}{RT}\right)$$

- **гетерогенне** - горіння, коли компоненти горючої суміші в зоні горіння знаходяться в різних агрегатних станах.

$$\omega_{\text{хр}} = k_o \varphi_{\text{ок}} \exp\left(\frac{-E_{\text{акт}}}{RT}\right)$$

## *2. За газодинамічним режимом надходження компонентів горючої суміші в зону горіння*

◆ *ламінарне*

◆ *турбулентне*

- *ламінарне горіння* спостерігається, якщо компоненти горючої суміші надходять до зони реакції повільно за законами молекулярної або слабкої конвекційної дифузії;
- *турбулентне горіння* спостерігається, якщо компоненти горючої суміші надходять в зону горіння інтенсивно, з завихреннями, перемішуванням продуктів горіння з вихідною сумішшю.

### 3. За способом утворення горючої суміші

◆ дифузійне

◆ кінетичне

$$\tau_{\text{гор}} = \tau_{\text{фіз.}} + \tau_{\text{х.р.}}$$

● **дифузійним** називається горіння, швидкість якого визначається швидкістю дифузії компонентів горючої суміші в зону горіння.

$$\tau_{\text{диф}} \gg \tau_{\text{х.р.}} \quad \tau_{\text{гор}} \approx \tau_{\text{диф}} \\ \omega_{\text{гор}} \approx \omega_{\text{диф}}$$

● **кінетичним** називається горіння, швидкість якого лімітується тільки швидкістю хімічної реакції (кінетикою) між горючою речовиною і окисником.

$$\tau_{\text{диф}} \ll \tau_{\text{хр}} \quad \tau_{\text{гор}} \approx \tau_{\text{хр}} \\ \omega_{\text{гор}} \approx \omega_{\text{х.р.}}$$

## *4. За механізмом поширення горіння*

*◆ дефлаграційне    ◆ детонаційне*

- *Дефлаграційне горіння* спостерігається, якщо процес поширюється за рахунок передачі тепла від зони горіння до свіжої горючої суміші. При цьому швидкість поширення фронту полум'я менша, ніж швидкість звуку.
- *Детонаційне горіння* спостерігається, якщо процес поширюється за рахунок різкого збільшення тиску в вихідній горючої суміші внаслідок проходження по горючій газовій суміші ударної хвилі. При цьому швидкість поширення фронту полум'я більша, ніж швидкість звуку.

# 4. ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ РІВНЯНЬ РЕАКЦІЇ ГОРІННЯ

## СКЛАД ПОВІТРЯ:

|                          |                                    |                                    |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| $\text{N}_2 - 78,09\%$ , | $\text{Ne} - 1,8 \cdot 10^{-3} \%$ | $\text{H}_2 - 5 \cdot 10^{-5} \%$  |
| $\text{O}_2 - 20,95\%$   | $\text{He} - 4,6 \cdot 10^{-4} \%$ | $\text{NO}_2 - 5 \cdot 10^{-5} \%$ |
| $\text{Ar} - 0,93\%$     | $\text{Kr} - 1,1 \cdot 10^{-4} \%$ | $\text{O}_3 - 2 \cdot 10^{-6} \%$  |
| $\text{CO}_2 - 0,03\%$   | $\text{Xe} - 8 \cdot 10^{-6} \%$   | $\text{Rn} - 6 \cdot 10^{-7} \%$   |

азот 79%, кисень 21%

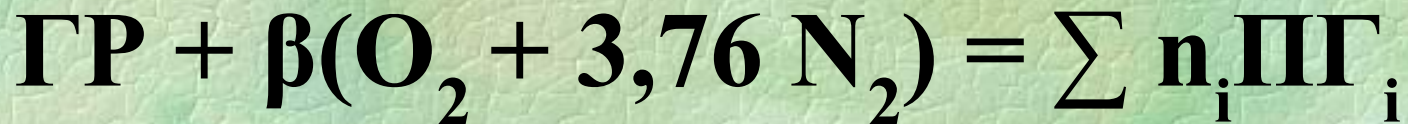
на 1 моль  $\text{O}_2$  припадає  $79:21 = 3,76$  молів  $\text{N}_2$

# МЕТОДИКА

## СКЛАДАННЯ РІВНЯНЬ РЕАКЦІЇ ГОРІННЯ

1. Рівняння складають на *1 моль* ГР.
2. Склад повітря записують як  $(O_2 + 3,76 N_2)$ .
3. Горюча речовина (ГР) та окисник (Ок) вступають у взаємодію у стехіометричному співвідношенні.

Загальний вигляд реакції горіння:



$$\beta = C + S + \frac{H - H_{al}}{4} - \frac{O}{2} + \frac{5P}{2}$$

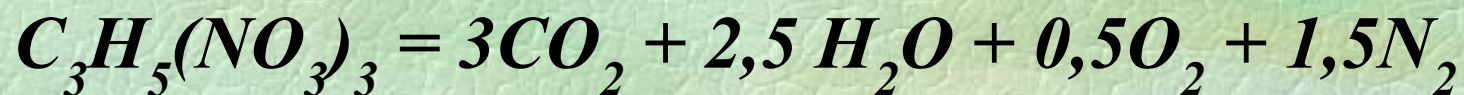
4. Утворюються продукти повного згоряння.

| елемент             | продукт горіння                   |
|---------------------|-----------------------------------|
| <i>C</i>            | <i>CO<sub>2</sub></i>             |
| <i>H</i>            | <i>H<sub>2</sub>O</i>             |
| <i>S</i>            | <i>SO<sub>2</sub></i>             |
| <i>P</i>            | <i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> |
| <i>Si</i>           | <i>SiO<sub>2</sub></i>            |
| <i>Me</i>           | <i>оксид металу</i>               |
| <i>N</i>            | <i>N<sub>2</sub></i>              |
| <i>F, Cl, Br, I</i> | <i>HF, HCl, HBr, HI</i>           |

Галогеноводні утворюються внаслідок взаємодії *галогенів* з атомами *гідрогену*, які входять до складу ГР:



Присутній в ГР *кисень* вступає до реакції окислення подібно кисню повітря:



5. Число атомів урівнюють в послідовності:

- карбон,
- галогени,
- сульфур, фосфор, силіцій, метал,
- водень.

Останніми урівнюється число атомів  
кисню та азоту.

# Завдання на самопідготовку:

1. Вивчити теоретичний матеріал

1.1. Демидов, Шандыба, Щеглов:- Горение и свойства горючих веществ, стор. 7-11, 47-52.

1.2. Демидов, Саушев:- Горение и свойства горючих веществ, с.-5-18.

2. Скласти рівняння реакції горіння речовин в повітрі:

