

## ТЕМА 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГОРІННЯ. ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ

### *Мета вивчення теми*

Розглянути умови утворення горючого середовища, встановлювати джерела запалювання, оцінювати та попереджувати вибухопожежонебезпеку.

### *План*

1. Теоретичні основи процесів горіння.
2. Види горіння. Зони та класи пожеж.
3. Горіння твердих речовин та матеріалів.
4. Горіння рідин, газів та пилу.
5. Самозаймання.
6. Показники пожежовибухонебезпеки речовин і матеріалів.

### **1 Теоретичні основи процесів горіння**

**Процес горіння** – це екзотермічна реакція окиснення речовини, яка супроводжується виділенням диму та/або виникненням полум'я та/або світінням. Іншими словами горіння – це з'єднання кисню або іншого окисника з горючою речовиною.

Оскільки з'єднання окисника з горючою речовиною носить екзотермічний характер, то має місце виділення теплової енергії. Для деяких горючих речовин така реакція може початися за нормальних температур навколишнього середовища під дією безпосередньо кисню повітря або ряду інших стимулюючих чинників. Однак лише у виключних випадках подібні реакції можуть призвести до пожежі, тому що швидкість їх перебігу невисока і у речовин з малою теплопровідністю тепло що розсіюється в навколишнє середовище, викликає незначне підвищення температури речовини. При певній температурі (температурі займання), що залежить від природи речовини та деяких інших факторів, виникає активізація, різко підвищується рівноважна температура і речовина займається. Для того щоб мало місце спалахування (займання), що супроводжується появою полум'я, речовина повинна розпочати виділяти горючі гази або пари в результаті випаровування, розкладу або хімічної реакції. У протилежному випадку горіння буде **безполуменим [Рожков]**.

Горіння виникає за одночасної наявності трьох основних та деяких додаткових умов, наведених на рис. 3 [\[https://kyrator.com.ua/knigi/610-ves1?start=2\]](https://kyrator.com.ua/knigi/610-ves1?start=2).

Джерело запалювання – це тепла енергія, що призводить до займання. Для початку реакції необхідно щоб джерело мало певний запас енергії та достатню температуру, а горюча речовина та окисник повинні знаходитися в необхідному співвідношенні один з одним. Горючі речовини разом з окисником утворюють горючу суміш (систему).

Горючі суміші, залежно від співвідношення пального та окисника поділяються наступним чином:

- бідні, що не вміщують у достатку за співвідношенням компонентів, окисник;
- багаті, що вміщують у достатку пальне.

Для повного згоряння необхідна наявність достатньої кількості кисню, щоб забезпечити повне перетворення пального в його насичені оксиди. При недостатній подачі повітря окиснюється тільки частина речовини. Залишок розкладається з виділенням великої кількості диму. При цьому утворюється найбільш розповсюджений продукт неповного згоряння – оксид вуглецю (СО). Дим складається з твердих та рідких частинок, які залишаються у завислому стані в газоподібних продуктах горіння та пересуваються разом з ними. Речовини, в продуктах розкладу яких вміщується більший процент важких фракцій, наприклад смоли, утворюють густий дим [Рожков].

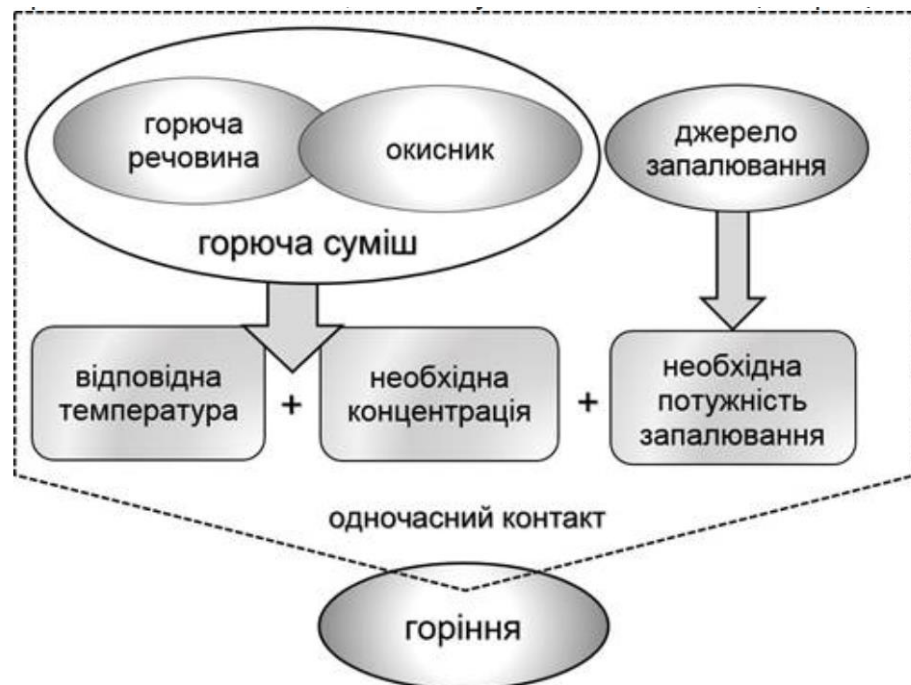


Рисунок 3 – Умови виникнення процесу горіння

На пожежах, як правило, горіння відбувається за браком окисника, що призводить до утворення неповних продуктів горіння та виділення диму. У свою чергу, такі обставини серйозно ускладнюють пожежогасіння внаслідок погіршення видимості або наявності токсичних речовин у повітряному середовищі.

Надлишок повітря, з іншого боку, охолоджує газоподібні продукти горіння. У тих випадках, коли пального небагато, охолодження буває достатньо, щоб загасити вогонь, оскільки температура падає нижче рівня, необхідного для займання. Саме таке явище має місце, коли задувають свічку. У той же час сильний вітер під час лісової пожежі здійснює зворотню дію, тому що маса горючого матеріалу та об'єм газоподібних продуктів горіння надто великі, щоб могло бути здійснено необхідне охолодження.

Оскільки з продуктів горіння та термічного розкладу неможливо знову створити речовину, що згоріла, то горіння є незворотним процесом.

На рис. 4 наведені основні стадії полуменевого горіння.

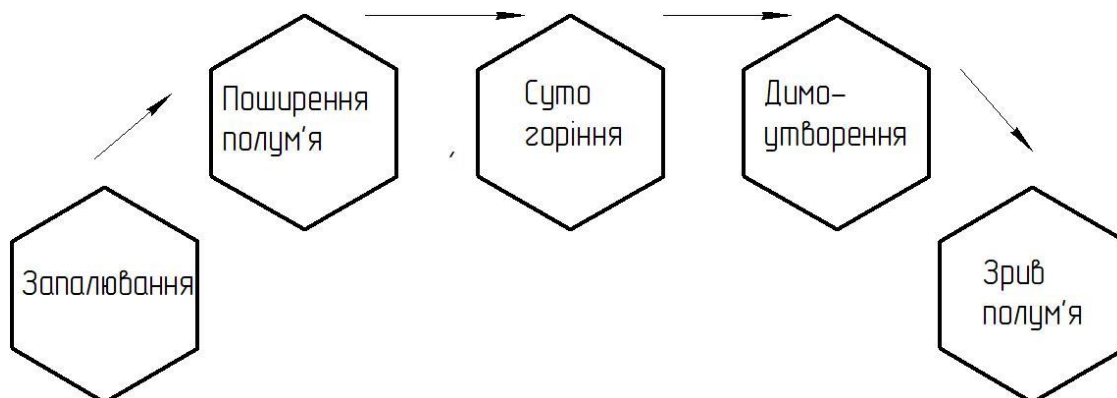


Рисунок 4 – Основні стадії полуменевого горіння

У всіх випадках для горіння характерні три типові стадії: виникнення, поширення та згасання полум'я. Найбільш загальними властивостями горіння є здатність осередку полум'я, яке виникло, пересуватися по всій горючій суміші шляхом передачі тепла або дифузії активних частинок із зони горіння в свіжу суміш. Звідси виникає й механізм поширення полум'я, відповідно **тепловий** та **дифузійний**. Горіння проходить, як правило, за комбінованим тепловим дифузійним механізмом.

Існує два режими проходження горіння:

**Самоспалахування** – полягає в різкому збільшенні швидкості екзотермічних об'ємних реакцій, що супроводжується полуменевим горінням, тобто – це самочинне виникнення полуменевого горіння попередньо нагрітої до певної критичної температури горючої суміші. Така температура має назву **температури самоспалахування**.

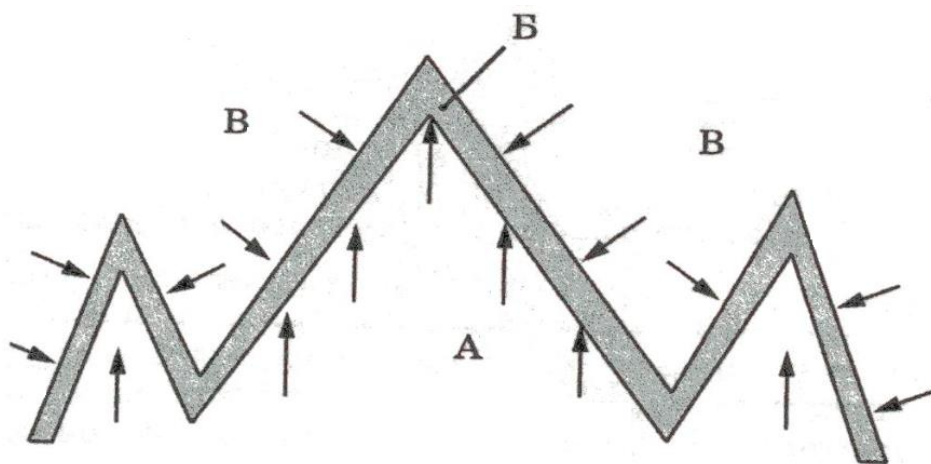
**Поширення фронту полум'я** (межі зони горіння в газовій фазі) здійснюється по холодній суміші під час її локального займання (спалахування) від зовнішнього джерела.

У процесі дифузійного горіння полум'я (рис.5) наче стоїть на місці, а в нього втікають з одного боку – горючі пари та гази (зона А), з іншого боку – повітря (зона В).

Спочатку полум'я поширюється сферично. При досягненні стінок трубки воно перетворюється в плоский вузький – завтовшки менш  $10^{-6}$  м фронт, що рухається у бік свіжої суміші. Продукти горіння, що утворюються, об'єм яких внаслідок підвищення температури в декілька разів перевищує об'єм вихідної суміші. Швидкість переміщення фронту полум'я відносно неспаленого газу по нормалі до його поверхні називається **нормальною швидкістю поширення полум'я**.

Нормальна швидкість поширення полум'я характеризується мінімальною величиною, не залежить від умов, а тільки лише від хімічного складу горючої суміші та співвідношення пального з окисником. Максимальне значення такої швидкості відповідає стехіометричному співвідношенню

компонентів горючої суміші. Цей показник має характер фізико-хімічної константи.



А – зона горючих парів; Б – зона горіння; В – навколишнє середовище (повітря)

Рисунок 5 – Схема дифузійного горіння

У процесі дифузійного горіння полум'я наче стоїть на місці, а в нього втікають з одного боку – горючі пари та гази (зона А), з іншого боку – повітря (зона В).

Важливішою особливістю всіх процесів горіння є самоприскорювальний характер хімічної реакції [Рожков].

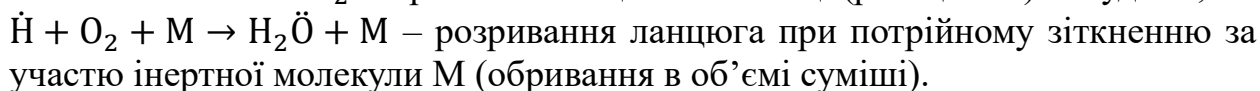
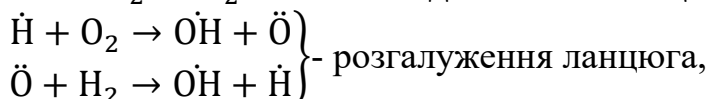
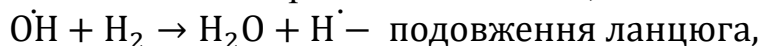
Самоприскорені перетворення при горінні можуть відбуватися за тепловим та ланцюговим механізмами.

Суть теплового механізму полягає в зростанні швидкості реакції зі збільшенням температури, а збільшення температури, в свою чергу, зумовлене екзотермічністю реакції окиснення-відновлення. Згідно з теорією «теплового вибуху», розігрів у горючій суміші при її послідовному нагріванні зовні зумовлюється співвідношенням швидкостей процесів тепловиділення та тепловідведення з зони реакції (за умов коли швидкість процесу тепловиділення більше швидкості тепловідведення). Найнижча температура за якою відбувається підігрів суміші має назву **температура самозаймання**.

Отже, при безперервному нагріванні горючої суміші обов'язково повинна досягатися вищезазначена умова. Прискорення реакції може досягатися не тільки через підвищення температури при саморозігріванні протягом екзотермічної реакції, але й в результаті особливого характеру хімічних перетворень при горінні – **ланцюгових реакцій**. Носіями таких реакцій є особливо активні частинки: радикали та атоми, які мають вільні валентні зв'язки. Коли ці частинки зштовхуються з вихідними молекулами або продуктами перетворення, взаємодія між ними має місце при значно менших значеннях енергії активації, ніж при молекулярних процесах. В особливого роду ланцюгових реакціях, що називаються **розгалуженими**, швидкість реакції бурхливо зростає за рахунок того, що внаслідок взаємодії активного центра з молекулою утворюється декілька активних центрів. Від додатково створених активних частинок виникають власні ланцюги

перетворень, які призводять до ще більшого накопичення активних центрів та лавиноподібного зростання швидкості сумарного процесу. У той же час в деяких реакціях активні частинки можуть взаємодіяти з іншими частинками таким чином, що активні центри взагалі не будуть утворюватися, що призведе до розірвання ланцюгової реакції. Кінцевий результат залежить від співвідношення швидкостей реакцій розгалуження та розірвання ланцюгів.

Характерним прикладом розгалуженої ланцюгової реакції є окиснення водню, що проходить за такою схемою [Рожков]:



З наведеної схеми видно, що протягом одного циклу перетворень кожний атом водню, що вступає в реакцію, призводить до утворення трьох нових активних частинок, позначених точками над відповідними хімічними символами. Якщо розгалуження проходить частіше, ніж обривання ланцюга, то швидкість реакції буде безперервно зростати, що призведе кінець кінцем до самозаймання. При цьому в даному випадку для прискорення реакції не потрібно нагрівати суміш. Екзотермічний хімічний процес, що розпочався ланцюговим шляхом, супроводжується виділенням тепла, яке призводить до теплового самоприскорення.

Слід відзначити, що в умовах реальної пожежі горіння проходить за комбінованим ланцюгово-тепловим механізмом.

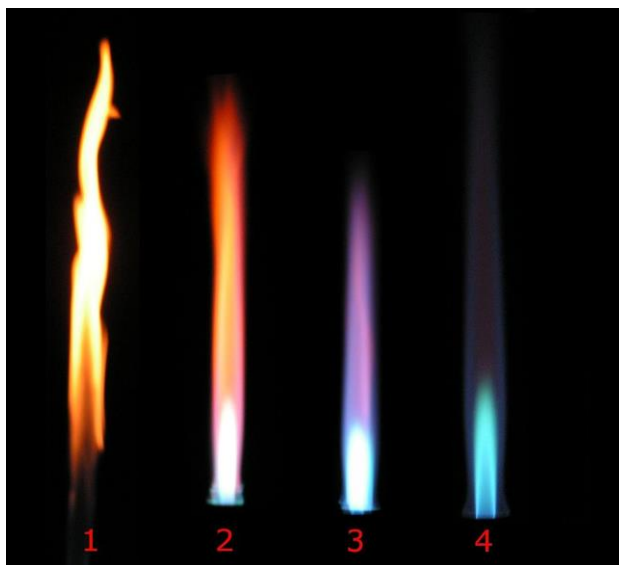
### Колір

### полум'я

[<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F>]. В зоні горіння можуть виникати вільні радикали й молекули в електронно-збуджених і коливально-збуджених станах. Якщо інтенсивність свічення достатньо висока, то його можна побачити неозброєним оком. Колір полум'я визначається тим, на яких частотах ідуть квантові переходи, що роблять основний внесок у випромінювання в видимій області спектра. Значна частина випромінювання, особливо при наявності твердої фази, пилинок або частинок сажі в полум'ї, припадає на інфрачервону область, яка суб'єктивно сприймається як жар від вогню. В інфрачервоне випромінювання роблять внесок коливально-збуджені молекули CO, CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O.

При горінні водню в чистому повітрі полум'я майже безбарвне. Воно має ледь помітний блакитний відтінок через випромінювання радикалів OH в оптичному діапазоні на довжинах хвиль 306-308 нм. Однак зазвичай водневе полум'я в повітрі світиться сильніше через наявність пилинок і органічних мікродомішок.

Полум'я при горінні вуглеводневих палив у пальнику Бунзена, таких як пропан чи бутан, може мати різний колір залежно від співвідношення пального і повітря (рис.6). При горінні в дифузійному режимі без подачі повітря в пальник полум'я забарвлене в жовтий або червонуватий колір, викликаний свіченням розжарених мікрочастинок сажі. При підмішуванні невеликої кількості повітря на виході з пальника виникає неясний синій конус полум'я. Подальше збільшення подачі повітря призводить до виникнення двох конусів полум'я, внутрішнього яскравого синьо-зеленого і зовнішнього синьо-фіолетового, набагато менш інтенсивного.



1 – подача повітря закрита; 2 – подача повітря знизу майже перекрита; 3 – суміш близька до стехіометричної; 4 – максимальна подача повітря

Рисунок 6 – Полум'я у пальнику Бунзена [Вікіпедія]

Здатність домішок забарвлювати полум'я в різні кольори використовується в аналітичній хімії для пірохімічного аналізу і в піротехніці для салютів, феєрверків та сигнальних ракет.

Надзвичайно швидке хімічне перетворення речовини, що супроводжується виділенням енергії та утворенням стиснених газів, здатних виконувати механічну роботу, називається **вибухом**. Під час вибуху відбувається процес вивільнення великої кількості енергії в обмеженому об'ємі за короткий проміжок часу.

Вибухонебезпечна (або вибухова) суміш, яка заповнює об'єм, в якому була виділена енергія, перетворюється в сильно нагрітий газ з високим тиском. Цей газ з великою силою діє на навколишнє середовище, здійснює утворення вибухової хвилі. З віддаленням від місця вибуху механічна дія вибухової хвилі послаблюється.

## 2 Види горіння. Зони та класи пожеж

Залежно від агрегатного стану пального та окисника розрізняють три види горіння:

- гомогенне горіння газів і пароподібних горючих речовин в середовищі газоподібного окисника;
- гетерогенне горіння твердих горючих речовин в середовищі газоподібного окисника;
- горіння вибухових речовин та порохів.

Горіння рідких горючих речовин в рідких окисниках є різновидом гетерогенного горіння.

За швидкістю поширення полум'я горіння поділяється на:

- дефлаграційне – швидкість полум'я в межах декількох м•с<sup>-1</sup>;
- вибухове – швидкість полум'я до сотень м•с<sup>-1</sup>;
- детонаційне – поширюється із надзвуковими швидкостями порядку тисяч м•с<sup>-1</sup>.

Дозвукове горіння поділяється на ламінарне та турбулентне.

**Ламінарне горіння** характеризується пошаровим поширенням фронту полум'я по свіжій горючій суміші, **турбулентне** – змішуванням шарів потоку.

Як нам уже відомо, в процесі горіння утворюються продукти горіння. Крім диму, до них належать:

- сажа – тонкодисперсний аморфний вуглецевий залишок, що утворюється під час неповного згоряння;
- зола – неорганічні залишки після повного згоряння;
- шлак (жужіль) – твердий агломерат залишків часткового або повного плавлення матеріалу як результат його повного або неповного згоряння.

Залежно від видів горіння визначаються й типи пожеж (табл. 3).

Таблиця 3 – Типи пожеж та умови їх протікання

№ з/п	Найменування	Температура, що спостерігається, °С
1	Тління	≥ 100
2	Окиснюючий безполумєневий терморозклад	< 500
3	Безполумєневий піроліз	1000
4	Полумєнєве горіння, що розвивається	400-500
5	Полумєнєве горіння, що повністю розвинулось при низькій швидкості газообміну	600-1000
6	Розвинєне полумєнєве горіння при високій швидкості газообміну	600-1000

Етапи розвитку пожежі розглянемо на прикладах пожежі у звичайному приміщенні:

I етап пожежі – перетворення загоряння в пожежу, тривалість – 1-3 хв.

II етап пожежі – зростання зони горіння – 5-6 хв.

III етап пожежі – бурхливий процес горіння, температура всередині приміщення досягає 250-300 °С, починається об'ємний розвиток пожежі, коли полум'я заповнює весь об'єм приміщення і поширення полум'я проходить вже не по поверхні, а дистанційно – через розриви. Руйнування застелення. Тривалість – 6-9 хв.

IV етап пожежі – як результат руйнування застелення, приплив свіжого повітря різко сприяє розвитку пожежі. Температура всередині приміщення підвищується з 500-600 °С до 800-900 °С. Швидкість вигорання максимальна. Тривалість – 9-12 хв.

V етап – стабілізація пожежі на 20-25 хв від початку горіння.

VI етап – зниження інтенсивності горіння.

Протягом перших двох етапів проходить лінійне поширення вогню. Тому дуже важливо в цей час викликати пожежні підрозділи та вжити заходів щодо гасіння пожежі до початку етапу її бурхливого зростання.

Активна ділянка пожежі включає в себе чотири зони (рис. 7).

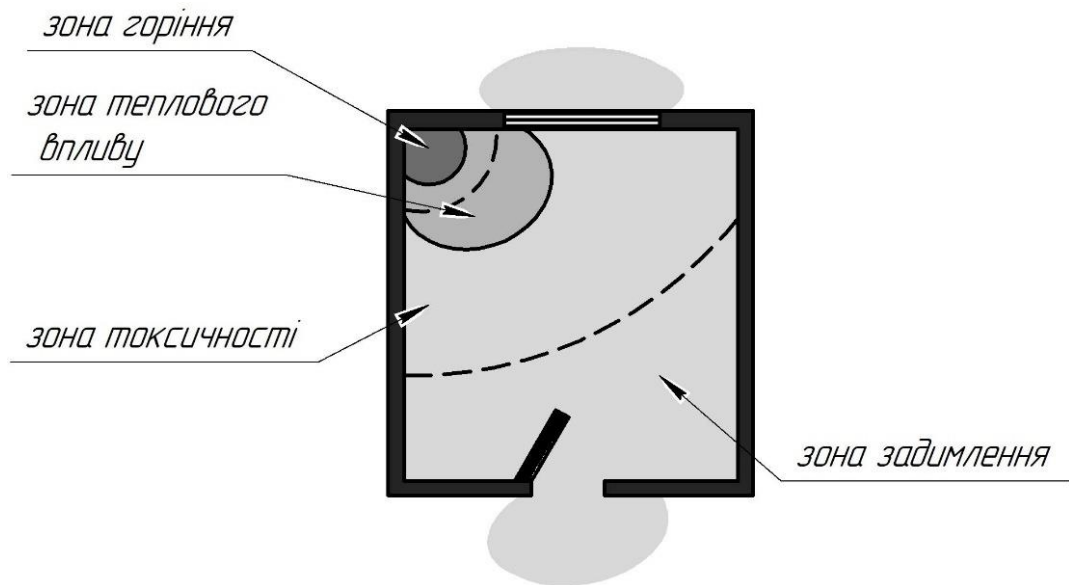


Рисунок 7 – Зони пожежі

**Зона горіння** – частина простору, в якій безпосередньо відбувається горіння. Вона може обмежуватися огорожувальними конструкціями будівель, споруд, приміщень, стінками технологічного устаткування.

**Зона теплового впливу** – прилеглий до зони горіння простір, в якому проходить тепловий обмін між зоною горіння та навколишнім середовищем, конструкціями та матеріалами. Межі даної зони визначаються гранично допустимими значеннями теплових потоків і температур для людини, конструкцій та горючих матеріалів. Теплопередача в навколишнє середовище здійснюється способами конвекції, теплового випромінювання та теплопровідністю.

**Зона задимлення** – простір, суміжний з зоною горіння, в якому можливе розповсюдження продуктів горіння.

**Зона токсичності** – об'єм простору, заповнений димовими газами, що вміщують токсичні продукти горіння в концентраціях, небезпечних для життя та здоров'я людей.

Під час пожежі зони знаходяться в стані постійного динамічного переміщення та перекривають одна одну.



Відповідно до ДСТУ EN 2:2014 у повній відповідності до європейського першоджерела (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004) встановлює класи пожеж залежно від матеріалу, що горить, і не передбачає визначення конкретного класу пожежі, що супроводжується горінням електрообладнання під напругою. Зазначений стандарт передбачає поділ пожеж на такі класи:

- А – що супроводжуються горінням твердих матеріалів, зазвичай органічного походження, під час горіння яких, як правило, утворюються тліючі вуглини;

- В – що супроводжуються горінням рідин або твердих речовин, які переходять у рідкий стан;

- С – що супроводжуються горінням газів;

- D – що супроводжуються горінням металів;

- F – що супроводжуються горінням речовин, які використовують для приготування їжі (рослинних і тваринних олій та жирів) і містяться в кухонних приладах.

### **3 Горіння твердих речовин та матеріалів**

Під час горіння твердих речовин характерні наступні явища: полум'я, теплове випромінювання, розжарені матеріали.

Коли тверда речовина піддається впливу полум'я, його температура підвищується, що може викликати пожежу. Ймовірність виникнення пожежі залежить від таких факторів:

- характеру твердої речовини, яка може бути горючою або негорючою;

- маси твердої речовини – зрозуміло, що невелика кількість матеріалу не здатна виділити достатню кількість теплоти згоряння для розповсюдження пожежі;

- стану твердої речовини – легко запалити за допомогою сірника деревну стружку або окремі листки паперу, оскільки у цих матеріалів більша площа поверхні, відкритої для доступу повітря, і, отже, висока швидкість окиснення, тоді як для займання колоди або щільної пачки паперу треба потужніше джерело запалювання;

- спосіб, за допомогою якого запалюється тверда горюча речовина; якщо предмет з цієї речовини знаходиться над вогнем вертикально, він загориться швидше, ніж при горизонтальному розташуванні.

Не завжди для виникнення горіння необхідно, щоб горючі речовини вступали в безпосередній контакт з полум'ям або сильно нагрітими матеріалами. Усі джерела тепла випромінюють видимі та інфрачервоні промені, тобто електромагнітні хвилі. Коли ці хвилі зустрічають перешкоду (в нашому випадку – горючу речовину), вони передають йому свою енергію, яка перетворюється в тепло.

Отже, тіло, що опромінюється, нагрівається і, при недостатньому охолодженні, може досягти температури займання та загорітися. Відомо, що дрова, складені на невеликій відстані від печі, яка топиться протягом тривалого часу, можуть зайнятися та викликати пожежу [Рожков].

Нагрітий до високої температури розжарений матеріал, чи то паливо (наприклад, кокс), чи негорючий матеріал (наприклад, розжарений до червоного кольору метал), спроможний викликати загоряння при доторканні до горючого твердого тіла за умов, що його маса досить велика, щоб перешкодити надто швидкому охолодженню, і що саме горюче тіло знаходиться в стані, який забезпечує швидке окиснення (деревна стружка, тирса, нещільно складений папір тощо). В останньому прикладі достатньо бризок розплавленого металу від газового різачка. Тверда речовина, нагріта вище температури, при якій вона розжарюється (наприклад, провідник електричного струму при перевантаженні), здатна запалити матеріал, з яким вона знаходиться в контакті, якщо тепло не буде розсіюватися достатньо швидко.

Ознайомимося з особливостями горіння твердих речовин на прикладі найбільш поширеної речовини цього класу – деревини та її похідних.

Деревина використовується у виробництві фанери, деревностружкових та деревноволокнистих плит, целюлози, паперу, плівок, смоли, багатьох інших продуктів та виробів. Широке використання деревини має свою негативну сторону з точки зору підвищення рівня пожежної небезпеки місць її накопичення та використання. Деревина належить до групи горючих матеріалів, займання яких за певних умов можливе навіть від малокалорійного джерела запалювання.

Речовина, з якої складається деревина, являє собою складний комплекс, де 99% маси – це органічні з'єднання. Близько 75% органічних речовин деревини складають вуглеводи, головним чином целюлоза, яка виконує функцію основного структурного компонента кліткових стінок рослин [Рожков].

Розглядаючи деревні породи як горючий матеріал, необхідно враховувати їх елементний склад, за яким вони відрізняються незначною мірою.

Деревина вміщує 49-50 % вуглецю, 43-44 % кисню, 6,0-6,5 % водню. Інші складові (азот та неорганічні елементи) – 0,1-0,3 %.

Таким чином, деревина має великий вміст кисню, який бере участь в процесі горіння разом з киснем повітря. Цим зумовлена здатність деревини до тління, а також деякі інші характеристики її пожежної небезпеки. Необхідно враховувати, що деревина – пористий матеріал, в якому об'єм порожнин, заповнених повітрям, перевищує об'єм твердої речовини. Наявність таких повітряних включень зумовлює відносно низьку теплопровідність деревини та пов'язані з цим займистість та повільне прогрівання внутрішніх шарів.

При нагріванні деревини змінюється її структура, фізичні та хімічні властивості. Характер змін залежить від режиму нагрівання, складу газового середовища та тиску. Термічні перетворення відбуваються за полімераналогічними та макромолекулярними реакціями. Компоненти деревини у цьому стані реагують на термічні впливи інакше, ніж всередині мікроструктури. Взаємовплив компонентів під час нагрівання достатньо складний.

При швидкому підвищенні температури до 150 °С з деревини випаровується в основному волога (згадайте «шипіння» сирих дров, кинутих до багаття), потім починається її розкладання з виділенням летких горючих речовин. За температурою 160-170 °С відбувається як ендотермічна реакція часткового гідролізу, так і екзотермічні процеси ущільнення макромолекул.

При нагріванні целюлози (основного компонента деревини) до 250-280 °С її деструкція (руйнування) розвивається дуже повільно. Подальше підвищення температури призводить до різкого зростання швидкості розкладання, яка досягає максимуму в діапазоні 325-380 °С.

Можна виділити чотири стадії процесу піролізу целюлози [Рожков]:

- молекулярна реакція, що призводить до дегідратації (зневоднення);
- розрив зв'язків С-О-С з розвитком деполімеризації та утворенням інших сполук, що визначаються як фракції смоли;
- розклад продуктів дегідратації до утворення вугілля та органічних летких продуктів;
- утворення оксидів вуглецю, води та водню.

#### 4 Горіння рідин, газів та пилу

**Рідини** – речовини, тиск насичених парів яких при температурі 25 °С та тиску 101,3 кПа (1 атм) менше 101,3 кПа. До рідин належать також тверді плавкі речовини, температура плавлення або краплепадіння яких менше 50 °С.

Рідини, які горять, поділяють на **горючі** та **легкозайmistі**. Відповідно до міжнародних рекомендацій, до легкозайmistих належать всі горючі рідини, що мають температуру спалаху нижче 61 °С (при визначенні в лабораторних умовах у закритому тиглі) або 66 °С (у відкритому тиглі). Особливо небезпечними є легкозайmistі рідини з температурою спалаху не більше 28 °С

[Рожков].

Горіння рідин відбувається у газовій фазі та являє собою складний фізико-хімічний процес, що проходить при взаємному впливі кінетичних, теплових і гідродинамічних явищ. Як результат випаровування, над поверхнею рідини утворюється паровий потік, змішування та хімічна взаємодія якого з киснем повітря забезпечує формування зони горіння, тобто тонкого шару газів, що світиться, і в який з поверхні рідини надходять горючі пари, а з повітря дифундує кисень. Стехіометрична суміш, що виникає, згоряє за частку секунди. Оскільки швидкість хімічного перетворення в зоні горіння в даному випадку залежить від швидкості надходження реагуючих компонентів до поверхні полум'я шляхом молекулярної та конвективної дифузії, процес горіння рідин називається **дифузійним горінням**. Схематично процес горіння рідини наведено на рис. 8.

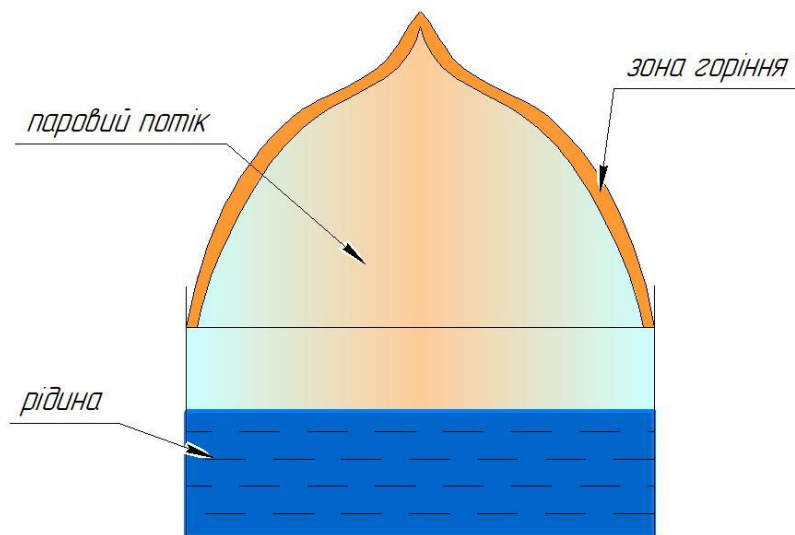


Рисунок 8 – Схема дифузійного горіння рідини

Розміри та форма полум'я рідин суттєво залежать від діаметра резервуара, в якому відбувається горіння. Зі збільшенням діаметра резервуара висота полум'я збільшується. Полум'я рідин у пальниках малого діаметра буде ламінарним, у резервуарах – турбулентним.

Стійкість полум'я над поверхнею рідини, що горить, забезпечується надходженням до нього з певною швидкістю горючих парів та кисню. Швидкість надходження пального, в свою чергу, залежить від тиску його парів над поверхнею рідини і отже, від її температури.

Кінетика процесу вигорання рідин характеризується швидкістю вигорання, яка не є фізико-хімічною константою, оскільки залежить від властивостей горючої рідини, діаметра резервуара та умов тепло- та масообміну в зоні горіння.

**Гази** – речовини, тиск насичених парів яких при температурі 25 °С та тиску 101,3 кПа перевищує 101,3 кПа.

Будь-яка суміш горючого газу з повітрям спалахує при контакті з розжареним тілом, та полум'я, що виникає, поширюється, якщо концентрація газу знаходиться в інтервалі між нижньою та верхньою концентраційними межами поширення полум'я. Швидкість поширення вогню залежить від природи горючого газу, температури навколишнього середовища і тиску та змінюється від 1 до 2000 м·с<sup>-1</sup>. Саме цей фактор визначає швидкість розширення нагрітих газів, а отже, й збитки, які здатні спричинити пожежа або вибух [Рожков].

Запалювання горючих газових сумішей може виникати при їх контакті з розжареними поверхнями з появою в середині суміші іскор різного походження або полум'я. Ініціювання горіння газової суміші в одній точці призводить до нагрівання ближче розташованих шарів, де починаються хімічні перетворення. Згорання таких шарів викликає за собою горіння наступних – і так до повного вигорання горючої суміші, яка таким чином згоряє пошарово. Зона горіння переміщується по суміші, забезпечуючи поширення полум'я.

Межа зони горіння в газовій фазі, де здійснюється хімічне перетворення та проходить інтенсивний розігрів газу, є фронтом полум'я. Попереду фронту

полум'я, що поширюється, знаходиться свіжа суміш, а позаду –продукти горіння. Якщо свіжа суміш рухається назустріч фронту полум'я зі швидкістю, яка дорівнює швидкості поширення полум'я, полум'я буде нерухомим (наприклад, у газовому пальнику).

У процесі поширення полум'я тепло, що виділяється під час реакції, витрачається на нагрівання свіжої суміші та частково витрачається в навколишнє середовище. Якщо втрати тепла перевищать певне критичне значення, то виникне прогресивне зниження температури полум'я, а потім його загасання.

Коли гази згоряють у вільному об'ємі, продукти реакції безперешкодно розширюються й тиск залишається практично постійним. Згорання в замкненому об'ємі супроводжується підвищенням тиску.

**Гази** – речовини, тиск насичених парів яких при температурі 25 °С та тиску 101,3 кПа перевищує 101,3 кПа.

Будь-яка суміш горючого газу з повітрям спалахує при контакті з розжареним тілом, та полум'я, що виникає, поширюється, якщо концентрація газу знаходиться в інтервалі між нижньою та верхньою концентраційними межами поширення полум'я. Швидкість поширення вогню залежить від природи горючого газу, температури навколишнього середовища і тиску та змінюється від 1 до 2000 м·с<sup>-1</sup>. Саме цей фактор визначає швидкість розширення нагрітих газів, а отже, й збитки, які здатні спричинити пожежа або вибух.

Запалювання горючих газових сумішей може виникати при їх контакті з розжареними поверхнями з появою в середині суміші іскор різного походження або полум'я. Ініціювання горіння газової суміші в одній точці призводить до нагрівання ближче розташованих шарів, де починаються хімічні перетворення. Згорання таких шарів викликає за собою горіння наступних – і так до повного вигорання горючої суміші, яка таким чином згоряє пошарово. Зона горіння переміщується по суміші, забезпечуючи поширення полум'я.

Межа зони горіння в газовій фазі, де здійснюється хімічне перетворення та проходить інтенсивний розігрів газу, є фронтом полум'я. Попереду фронту полум'я, що поширюється, знаходиться свіжа суміш, а позаду –продукти горіння. Якщо свіжа суміш рухається назустріч фронту полум'я зі швидкістю, яка дорівнює швидкості поширення полум'я, полум'я буде нерухомим (наприклад, у газовому пальнику).

У процесі поширення полум'я тепло, що виділяється під час реакції, витрачається на нагрівання свіжої суміші та частково витрачається в навколишнє середовище. Якщо втрати тепла перевищать певне критичне значення, то виникне прогресивне зниження температури полум'я, а потім його загасання.

Коли гази згоряють у вільному об'ємі, продукти реакції безперешкодно розширюються й тиск залишається практично постійним. Згорання в замкненому об'ємі супроводжується підвищенням тиску.

**Пил** – дисперговані тверді речовини та матеріали з розміром частинок менше 850 мкм (0,85 мм).

Пил з горючих речовин, зважених у повітрі (газозавись), поводить себе значною мірою як газоповітряна суміш і теж здатний вибухати.

Процес горіння газозависі хімічних органічних речовин значною мірою визначається механізмом теплопередачі по фронту полум'я. В органічних системах теплопередача здійснюється, головним чином, шляхом кондуктивно-конвективного теплообміну. Домінуючим механізмом теплопередачі є теплопровідність по газу. На горіння газозависей впливає й гравітація, що проявляється в осіданні частинок під дією сил тяжіння. У загальному вигляді модель фронту полум'я має такий вигляд: із високотемпературної зони пилової хмари, що горить, під впливом теплового потоку частинки встигають випаровуватися до спалахування; поширення фронту полум'я проходить по однорідній газоподібній суміші парів пального з повітрям; реакція взаємодії пального з окисником, що описується відомими з теплової теорії закономірностями, відбувається в кінетичній області.

Як результат руху фронту полум'я має місце часткове розсіювання свіжої суміші поблизу провідних точок полум'я. При цьому окисник (газова фаза) розсіюється в більшій мірі, ніж пальне (конденсована фаза), внаслідок чого фази отримують відносну швидкість й відповідно змінюється співвідношення пального з окисником у фронті полум'я. Підвищення концентрації пального супроводжується зростанням швидкості полум'я в даних зонах.

Горіння газозависей природних палив має свої особливості, оскільки тверді природні палива відрізняються від більшості інших хімічних речовин наявністю трьох компонентів: легкої частини, коксу та золи. Процеси займання й поширення полум'я для кожної з цих складових мають певні відмінності.

Летка частина складається з газоподібних компонентів, що виділяються під час нагрівання з палива без участі окисника. Кокс близький за складом до вуглецю, до того ж швидкість його горіння значно менша швидкості горіння легкої частки. Тому участь коксу в пилових вибухах природних палив незначна. Зола, що є мінеральною частиною палива, вміщує в собі ряд компонентів, здатних брати участь у горінні (пірити, колчедани, лужні метали), однак зола, в цілому, поводить себе як інертний матеріал [Рожков].

Вибухи газозависей твердих палив належать до типових теплових вибухів. Фронт полум'я поширюється по зависі як результат передачі тепла від продуктів горіння в свіжу суміш. Процеси в газозависях природних палив, на відміну від горіння газових сумішей, ускладнюються через тривалість прогрівання частинок й можливість перебігу реакції окиснення як в кінетичній, так і в дифузійній області.

Характерною особливістю горіння пилоповітряних сумішей в реальних умовах є те, що первісно об'єм газозависі, що утворився, може викликати переведення до стану зависі (взмучування) відкладеного пилу та їх наступне вигорання. Цим пояснюється, що такі вибухи, як правило, розвивають великий тиск й супроводжуються сильними руйнуваннями.

## 5 Самозаймання

Цілий ряд матеріалів, особливо волокнистих, мають здатність довільно загорятися за відсутності зовнішнього джерела запалювання, тобто можуть самозайматися [Рожков].

**Самозаймання** – це початок горіння у результаті само-ініційованих екзотермічних процесів.

Горіння здатне виникнути в купі твердого мінерального палива або органічного матеріалу, якщо має місце циркуляція повітря, достатня для сприяння окиснюванню, але недостатня для відводу тепла, що виділяється.

Залежно від первісної причини самозаймання розрізняють три його види: теплове, хімічне та мікробіологічне.

Теплове самозаймання виникає в масі матеріалів при їх помірному нагріванні ззовні. При цьому початок самонагрівання матеріалу пов'язаний зі збільшенням швидкості екзотермічного окиснення повітрям, що вміщується в його порах. Найбільш інтенсивне самонагрівання виникає в місці, де досягаються найкращі умови акумуляції тепла. Таким умовам відповідають глибинні шари матеріалів, найбільш віддалені від зовнішньої поверхні.

Для кращого розуміння процесу теплового самозаймання уявимо, що зразок твердого матеріалу поміщається в повітряний термостат, який встановлюється на різні задані температури. Температури, що досягаються під час цих випробувань за часом, наведені на рис. 9.

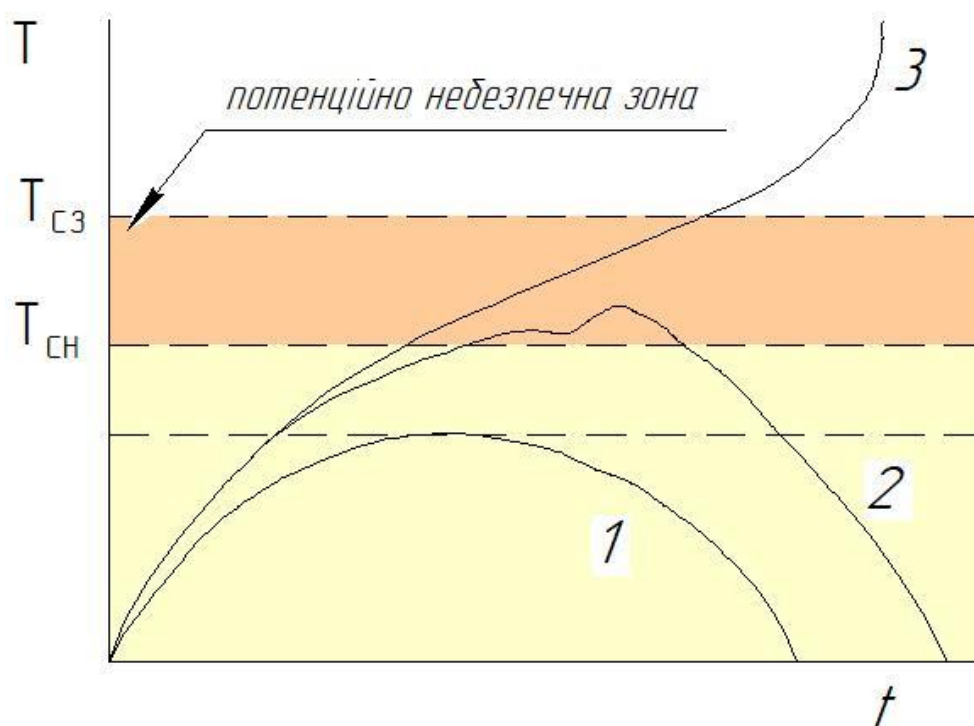


Рисунок 9 – Схема теплового самозаймання

У разі помірному нагрівання матеріал без змін стану буде досягати температури середовища в термостаті, а після відключення термостата матеріал повернеться в початковий стан (крива 1). При досягненні певної

температури  $T_{сн}$  (температура самонагрівання) в матеріалі починаються екзотермічні фізико-хімічні перетворення (розклад, окиснення тощо), і він починає самонагріватися. Залежно від умов акумуляції тепла самонагрівання може призвести або до досягнення рівноваги між тепловиділенням та теплом, що відводиться (і тоді після вичерпання здатних окиснюватися складових частин матеріалу, його температура зрівняється з температурою навколишнього середовища (крива 2)), або до досягнення певної температури  $T_{сз}$  (температура самозаймання, починаючи з якої здійсниться спонтанне зростання швидкості реакції та обов'язково виникне горіння (крива 3)). Зона температур між  $T_{сн}$  та  $T_{сз}$  є потенційно небезпечною [Рожков].

До типових прикладів теплового самозаймання належать випадки самозаймання теплової ізоляції опалювальних комунікацій та теплообмінних апаратів, яка виконана з мінераловатних плит, тирси тощо.

До **хімічного самозаймання** належать випадки, зумовлені екзотермічною взаємодією речовин. Наприклад, самозаймання може виникнути у разі розливання концентрованої азотної кислоти на деревні стружки або тирсу.

Широко відомі випадки самозаймання промащених матеріалів. Більшість мастил, в особливості рослинних, легко окиснюються. Кількість вивільнюваного тепла визначається площею поверхні, відкритої для доступу повітря. Вона відносно невелика у просто розлитого мастила. Якщо це мастило убирається обтиральним ганчір'ям або тирсою, площа поверхні значно збільшується, а тепловиділення при цьому зростає, оскільки матеріали, убрані мастилом, є поганими провідниками тепла. Тепло акумулюється, й нерідко за відносно короткий строк призводить до самозаймання.

До того ж класу самозаймистих хімічним способом речовин належать й так звані **пірофорні речовини**, що загоряються в контакті з повітрям, наприклад: тонкоподрібнений алюміній, тетрагідрид кремнію, сульфід заліза, деякі металоорганічні з'єднання тощо.

До **мікробіологічного самозаймання** належать випадки самозаймання матеріалів, які є живильним середовищем для так званих термофільних мікроорганізмів, що виділяють теплову енергію в процесі своєї життєдіяльності. За таким механізмом проходить самозаймання сіна, торфу та інших органічних матеріалів.

Природні органічні матеріали, в основному, є багатоконпонентними системами. Наприклад, сухе молоко містить більше ста компонентів. Не менше число компонентів міститься в сухих рослинах та багатьох інших природних матеріалах.

У процесі самозаймання відбувається велика кількість паралельних та послідовних хімічних реакцій. Дослідженнями встановлено, що в самозайманні деревних матеріалів, залежно від температурних режимів, основну роль відіграють екстраговані компоненти й клітковина. При самозайманні сухих зелених рослин, міхів, листя та хвої процес самозаймання визначається окисненням білків, що розчинюються, жирних кислот та цукрів.



У вологому стані такі білки реагують з цукрами, що сприяє окисненню системи білок–цукор й знижує схильність до наступного самозаймання. Тому саме влежування скошеної трави протягом не менше «трьох рос» визначається необхідною умовою запобігання сіна від самозаймання.

Рослинні та деревні матеріали піддані процесу метаморфізму, що супроводжується змінами їх схильності до самозаймання, результатом якого є вуглефікація. Перша стадія метаморфізму утворює торф. Усі види торфу, незалежно від походження й умов утворення, здатні самозайматися. Найбільш схильним до самозаймання є низинний торф. У контакті з киснем торф окиснюється і його схильність до наступного самозаймання знижується.

Підвищену, порівняно з торфом, схильність до самозаймання має буре вугілля, в якому цей процес виникає частіше, ніж в інших видах копалин твердого палива. Свіжоутворена поверхня будь-якого вугілля має високу реакційну здатність, внаслідок чого подрібнене вугілля, а тим більше вугільний пил, дуже схильні до самозаймання. Під час зберігання на повітрі відбувається окиснювання вуглецевої поверхні та знижується ймовірність подальшого самозаймання вугілля. Проте в результаті зволоження схильність окисненого вугілля до самозаймання повертається практично до вихідного стану.

У порівнянні з копалинами вугілля всі види технічного вуглецю (вуглецеві сажі) менш схильні до самозаймання. У той же час, маючи виключно високу дисперсність (питома геометрична поверхня  $\approx 100 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ ) та наявності на поверхні частинок певної кількості активних центрів, сажі в умовах виробництва, транспортування та зберігання можуть самозайматися. Відповідальні за самозаймання активні центри мають різну природу. На поверхні пічних частинок сажі найбільш ймовірними активними центрами є вуглецеві атоми з ненасиченими й перенапруженими валентними зв'язками. Крім того, на поверхні частинок сажі, отриманої пічним способом, особливо антраценових каналних саж, можуть знаходитися вуглеводні, що не зреагували та мають такі ненасичені валентні зв'язки.

Суттєвий вплив на процес самозаймання органічних матеріалів має їх зволоження. Волога стимулює дію термофільних мікроорганізмів. Під дією ферментів активно окиснюються білки та цукри, розщепляються стійкі до окиснення крохмаль та клітковина. Мікроорганізми також продукують білки. Таким чином, під час життєдіяльності мікроорганізмів здійснюється не тільки ферментативний процес окиснення, але й виділяються продукти з нахилом до хімічного окиснення.

Як результат дії вологи різко активізується процес попереднього окиснення вугілля. Це викликано тим, що внаслідок окиснення енергія активації зростає, а під дією води – знижується. У присутності вологи стійкі до термічного розкладу лактонні групування трансформуються в карбоксили, які, в свою чергу, легко декарбоксилизуються з виділенням  $\text{CO}_2$  та утворенням на вуглецевій поверхні ненасичених валентних зв'язків.

На випаровування вологи у процесі самозаймання витрачається теплова енергія. Вологий матеріал довільно нагрівається до температури близько  $80^\circ \text{C}$ ,

після чого спостерігається затримка, яка називається «пульсацією», а потім відбувається процес довільного охолодження, або процес стрибкоподібного самонагрівання, що викликає горіння.

## **6 Показники пожежовибухонебезпеки речовин і матеріалів**

**Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів** – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух.

Показники пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів визначають з метою отримання даних для розробки систем забезпечення пожежної безпеки і вибухобезпеки, державних будівельних норм, нормативних документів і нормативно-правових актів та оцінювання відповідності речовин і матеріалів.

Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Під час визначення пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів розрізняють: гази, рідини, тверді речовини та матеріали, пил. 5.4 Номенклатуру показників та їхнього застосування для характеристики пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів наведено в табл.4 відповідно до ДСТУ 8829:2019 (знаком «+» позначається застосування, знаком «-» незастосування показника).

Таблиця 4 – Номенклатура та застосування показників пожежовибухонебезпеки речовин і матеріалів

№ з/п	Показник	Агрегатний стан речовин і матеріалів			
		гази	рідини	тверді	пил
1	Група горючості	+	+	+	+
2	Температура спалаху	—	+	—	—
3	Температура займання	—	+	+	+
4	Температура самозаймання	+	+	+	+
5	Концентраційні межі поширення полум'я (займання)	+	+	—	+
6	Температурні межі поширення полум'я (займання)	—	+	—	—
7	Температура тління	—	—	+	+
8	Умови теплового самозаймання	—	—	+	+
9	Мінімальна енергія запалювання	+	+	—	+
10	Кисневий індекс	—	—	+	—
11	Здатність вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами	+	+	+	+
12	Нормальна швидкість поширення полум'я	+	+	—	—
13	Швидкість вигорання	—	+	—	—
14	Коефіцієнт димоутворення	—	—	+	—
15	Індекс поширення полум'я	—	—	+	—
16	Показник токсичності продуктів горіння полімерних, синтетичних та інших матеріалів	—	—	+	—
17	Група займистості			+	
18	Група поширення полум'я			+	
19	Мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню	+	+	—	+
20	Мінімальна флегматизувальна концентрація флегматизатора	+	+	—	+
21	Максимальний тиск вибуху	+	+	—	+
22	Швидкість наростання тиску вибуху	+	+	—	+

**Група горючості** – класифікаційна характеристика здатності речовин і матеріалів до горіння. 6.1.2 За горючістю речовини і матеріали поділяють на три групи:

- негорючі – речовини і матеріали, не здатні до горіння в повітрі. Негорючі речовини можуть бути пожежовибухонебезпечними (наприклад, окисники або речовини, що виділяють горючі продукти під час взаємодії з водою, киснем повітря чи один з одним);

- важкогорючі – речовини і матеріали, здатні горіти в повітрі під час дії джерела запалювання, але не здатні самостійно горіти після його видалення;

- горючі – речовини і матеріали, здатні самозайматися, а також займатися під час дії джерела запалювання і самостійно горіти після його видалення.

Горючі рідини з температурою спалаху не більше ніж 61 °С у закритому тиглі або 66 °С у відкритому тиглі, зафлегматизованих сумішей, що не мають спалаху в закритому тиглі, належать до **легкозаймистих**.

**Особливо небезпечними** називають легкозаймісті рідини з температурою спалаху не більше ніж 28 °С у закритому тиглі.

Горючі речовини і матеріали залежно від результатів випробувань поділяють на: важкозаймісті, середньої займистості, легкозаймісті.

Горючі будівельні матеріали поділяють на чотири групи горючості Г1, Г2, Г3, Г4 відповідно до табл. 5. Матеріали потрібно відносити до певної групи горючості за умови відповідності всіх значень параметрів, що встановлені табл. 5 для цієї групи. Для матеріалів груп горючості Г1-Г3 не допускається утворення краплин розплаву та/або фрагментів, що горять під час випробування. **Для матеріалів груп горючості Г1 не допустимо утворення розплаву та/або краплин розплаву під час випробування [ДСТУ 8829:2019].**

Таблиця 5 – Групи горючості матеріалів

Група горючості матеріалів	Параметри горючості			
	Температура газоподібних продуктів горіння $T$ , °С	Ступінь пошкодження за довжиною $S_L$ , %	Ступінь пошкодження за масою $S_m$ , %	Тривалість самостійного горіння $t_f$ , с
Низької горючості (група Г1)	≤135	≤65	≤20	0
Помірної горючості (група Г2)	≤235	≤85	≤50	≤30
Середньої горючості (група Г3)	≤450	>85	≤50	≤300
Підвищеної горючості (група Г4)	>450	>85	>50	>300

**Температура спалаху** – найменша температура конденсованої речовини, за якої в умовах спеціальних випробувань над її поверхнею утворюються випари, здатні спалахувати в повітрі від джерела запалювання, стійке горіння при цьому не виникає.

**Спалах** – швидке згоряння газопароповітряної суміші над поверхнею горючої речовини, що супроводжується короткочасним видимим світінням.

**Температура займання** – найменша температура речовини (матеріалу), за якої в умовах спеціальних випробувань речовина виділяє горючі випари і гази з такою швидкістю, що під час дії на них джерела запалювання спостерігається займання.

**Займання** – виникнення полуменевого горіння речовини (матеріалу), що ініційоване джерелом запалювання і триває після його видалення.

**Температура самозаймання** – найменша температура довкілля, за якої в умовах спеціальних випробувань спостерігається самозаймання речовини (матеріалу).

**Нижня (верхня) концентраційна межа поширення полум'я** – мінімальний (максимальний) вміст горючої речовини в однорідній суміші з окислювальним середовищем, під час якого можливе поширення полум'я по суміші на будь-яку відстань від джерела запалювання.

**Температурні межі поширення полум'я** – такі значення температури речовини, за яких його насичена пара утворює в окислювальному середовищі концентрації, рівні відповідно до нижньої (нижня температурна межа) та верхньої (верхня температурна межа) концентраційних меж поширення полум'я.

**Температура тління** – температура речовини (матеріалу), за якої відбувається різке збільшення швидкості екзотермічних реакцій окислення, що призводять до тління.

**Тління** – горіння без видимого світлового випромінювання. 6.8 Умови теплового самозаймання.

Умови теплового самозаймання – експериментально виявлена залежність між температурою доквілля, кількості речовини (матеріалу) і часом до моменту її самозаймання.

**Самозаймання** – різке збільшення швидкості екзотермічних процесів у речовині (матеріалі), що призводить до виникнення осередку горіння.

**Мінімальна енергія запалювання** – найменша енергія електричного розряду, здатна запалити найбільш легкозаймисту суміш горючої речовини з повітрям.

**Кисневий індекс** – мінімальний вміст кисню в киснево-азотній суміші, за якого можливе свічкоподібне горіння матеріалу в умовах спеціальних випробувань.

Здатність вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами – це якісний показник, що характеризує особливу пожежну небезпеку деяких речовин (матеріалів).

**Нормальна швидкість поширення полум'я** – швидкість переміщення фронту полум'я відносно газу, що не згорів, у напрямку, перпендикулярному до його поверхні.

**Швидкість вигорання** – кількість рідини, що згоряє за одиницю часу з одиниці площі. Швидкість вигорання характеризується інтенсивністю горіння рідини.

**Коефіцієнт димоутворення** – показник, що характеризує оптичну густину диму, що утворюється під час тління та полуменевого горіння певної кількості твердої речовини (матеріалу) в умовах спеціальних випробувань. Значення коефіцієнта димоутворення потрібно застосовувати для класифікації матеріалів за димоутворювальною здатністю. Розрізняють такі три групи матеріалів, які наведено в табл. 6: Д1, Д2, Д3 [ДСТУ 8829:2019].

Таблиця 6 – Групи за димоутворювальною здатністю матеріалу

Група за димоутворювальною здатністю матеріалу	Коефіцієнт димоутворення, $m^2 \cdot kg^{-1}$
З малою (низькою) димоутворювальною здатністю (група Д1)	до 50 включ.
З помірною димоутворювальною здатністю (група Д2)	більше ніж 50 до 500 включ.
З високою димоутворювальною здатністю (група Д3)	більше ніж 500

**Індекс поширення полум'я** – умовний безрозмірний показник, що характеризує здатність речовин (матеріалів) займатися, поширювати полум'я по поверхні та виділяти тепло. 6.15.2 Значення індексу поширення полум'я потрібно застосовувати для класифікації матеріалів. Розрізняють такі три групи матеріалів, які наведено в табл.7: I1, I2, I3.

Таблиця 7 – Групи за індексом поширення полум'я матеріалу

Група за індексом поширення полум'я матеріалу	Індекс поширення полум'я
Не поширюють полум'я по поверхні (група I1)	0
Повільно поширюють полум'я по поверхні (група I2)	більше 0 до 20 включ.
Швидко поширюють полум'я по поверхні (група I3)	більше ніж 20

**Показник токсичності продуктів горіння** – відношення кількості матеріалу до одиниці об'єму замкнутого простору, в якому газоподібні продукти, які утворюються під час горіння матеріалу, спричиняють загибель 50 % піддослідних тварин.

Значення токсичності продуктів горіння матеріалів потрібно застосовувати для класифікації матеріалів. Розрізняють такі чотири групи матеріалів, які наведено в табл. 8: T1, T2, T3, T4.

Група займистості – класифікаційна характеристика здатності речовин і матеріалів до спалахування.

**Спалахування** – початок полуменевого горіння під дією джерела запалювання під час стандартного випробування, що характеризується стійким полуменевим горінням.

Горючі будівельні матеріали залежно від критичної поверхневої щільності теплового потоку (КПЩТП) поділяють на три групи, які наведено в табл. 8 [ДСТУ 8829:2019].

**Група поширення полум'я** – класифікаційна характеристика здатності речовин і матеріалів поширювати полум'я по поверхні.

**Поширення полум'я** – поширення полуменевого горіння по поверхні внаслідок впливу променистого теплового потоку та полум'я.

Горючі будівельні матеріали залежно від критичної поверхневої щільності теплового потоку (КПЩТП) поділяють на чотири групи, які наведено в табл. 10 [ДСТУ 8829:2019].

Таблиця 8 – Класи небезпеки матеріалів за показниками токсичності

Клас небезпеки	$H_{CL50}$ , г/м <sup>3</sup> , за час експозиції, хв			
	5	15	30	60
Надзвичайно небезпечні (група Т4)	До 25	До 17	До 13	До 10
Високонебезпечні (група Т3)	25—70	17—50	13—40	10—30
Помірнонебезпечні (група Т2)	70—210	50—150	40—120	30—90
Малонебезпечні (група Т1)	Більше ніж 210	Більше ніж 150	Більше ніж 120	Більше ніж 90

Таблиця 9 – Групи займистості матеріалу

Група займистості матеріалу	КПЦТП, кВт/м <sup>2</sup>
Важкозаймисті (група В1)	$35 \leq \text{КПЦТП}$
Помірнозаймисті (група В2)	$20 \leq \text{КПЦТП} < 35$
Легкозаймисті (група В3)	$\text{КПЦТП} < 20$

Таблиця 10 – Групи поширення полум'я

Група поширення полум'я	КПЦТП, кВт/м <sup>2</sup>
Не поширюють полум'я (група РП1)	11,0 та більше
Локально поширюють полум'я (група РП2)	від 8,0, але менше ніж 11,0
Помірно поширюють полум'я (група РП3)	від 5,0, але менше ніж 8,0
Значно поширюють полум'я (група РП4)	менше ніж 5,0

**Мінімальна флегматизувальна концентрація флегматизатора** – найменша об'ємна концентрація певного флегматизатора, достатня для флегматизування газових сумішей певної горючої речовини з певним окисником за будь-якого співвідношення цих двох компонентів в умовах спеціальних випробувань.

**Мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню** – це така концентрація кисню в горючій суміші, що складається з горючої речовини, повітря і флегматизатора, менше якої поширення полум'я в суміші стає неможливим за будь-якої концентрації пального в суміші, розбавленій цим флегматизатором.

**Максимальний тиск вибуху** – найбільший надмірний тиск, що виникає під час детонаційного згоряння газо-, паро- або пилоповітряної суміші в замкненій посудині за початкового тиску суміші 101,3 кПа.

**Швидкість наростання тиску вибуху** – похідна тиску вибуху за часом на висхідній ділянці залежності тиску вибуху горючої суміші в замкненій посудині від часу.

**Питання до самоконтролю:**