

**МІНІСТЕРСТВО З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
ТА У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД НАСЛІДКІВ
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ
АКАДЕМІЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З КУРСУ
"ТЕОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ"**

Харків

МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

АКАДЕМІЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
Львівський інститут пожежної безпеки

Тарахно О.В., Жернокльов К.В., Баланюк В.М.

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
з курсу
"ТЕОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ"

Харків 2004

УДК 614.841
ББК 6с9.614
Т 19

Рецензенти: Курко К.В. - доцент кафедри хімії ХДПУ
ім. Г.С. Сковороди;
Кіреєв О.О. - доцент кафедри
фундаментальних дисциплін АЦЗУ

Тарахно О.В., Жернокльов К.В., Баланюк В.М.

Лабораторний практикум з курсу "Теорія розвитку та
припинення горіння" - Харків: АЦЗУ, 2004. – 193 с.

Т 19

У виданні стисло викладені основні положення курсу «Теорія розвитку та припинення горіння» відповідно до навчальної програми для пожежно-технічних освітніх установ за темами, за якими виконуються лабораторні роботи. Надано алгоритми виконання розрахункової та експериментальної частин лабораторних робіт. Наведені необхідні довідникові матеріали для виконання лабораторних робіт. Для самоконтролю готовності до лабораторної роботи у практикумі наприкінці кожної теми наведені контрольні запитання.

Видання призначене для підготовки бакалаврів, які вчаться в області знань "Цивільна безпека" за напрямками "Цивільний захист", "Охорона праці", "Пожежна безпека", а також "Хімічна технологія".

УДК 614. 841

ББК 6с9.614

© Тарахно О.В., Жернокльов К.В., Баланюк В.М. 2004

© Академія цивільного захисту України, 2004

БЕЗПЕКА ПРАЦІ ТА ПРАВИЛА НАДАННЯ ПЕРШОЇ ДОПОМОГИ ПРИ РОБОТІ В ЛАБОРАТОРІЇ

- 1) До роботи в лабораторії допускаються особи, що пройшли первинний інструктаж із безпеки праці. Виконання поточної роботи здійснюється після інструктажу і відповідного запису в журналі з техніки безпеки.
- 2) До виконання роботи допускаються особи, що знають мету і порядок проведення роботи, знайомі із улаштуванням та призначенням лабораторного устаткування.
- 3) При проведенні роботи слід точно дотримуватись порядку її проведення. Безпосереднє виконання допускається після дозволу викладача. Із незрозумілих питань, що з'являються під час роботи, звертатись по допомогу до викладача.
- 4) Всі роботи із легкозаймистими (ЛЗР) і горючими рідинами (ГР) проводять у витяжній шафі при робочій вентиляції.
- 5) Категорично заборонено користуватись відкритим полум'ям при нагріванні ЛЗР і ГР.
- 6) Нагрівання ЛЗР і ГР необхідно проводити в лотку достатньої ємності, висота борта якого дозволяє ізолювати поширення полум'я у випадку аварії.
- 7) При користуванні газовими пальниками не допускати "проскакування" полум'я в середину пальника. В цьому разі слід негайно перекрити подачу горючого газу в пальник.
- 8) При проведенні робіт необхідно бути обережними і не торкатись частин лабораторного устаткування, що знаходяться в зоні теплового впливу і мають підвищену температуру.
- 9) Теплові електричні прилади, розжарені і гарячі предмети до повного остигання слід розташовувати на теплоізоляційних прокладках.

- 10) Категорично заборонено зливати в каналізацію вогненебезпечні рідини, засмічувати твердими предметами раковини.
- 11) В лабораторії категорично заборонено мити обладнання, підлогу, столи органічними розчинниками.
- 12) Після закінчення роботи необхідно вимкнути газ, електроенергію і воду, провести прибирання робочих місць, приладів і обладнання.
- 13) Місця для проведення лабораторних робіт повинні відповідати вимогам електробезпеки за ГОСТ 12.1.019 і санітарно-гігієнічним вимогам за ГОСТ 12.1.005.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ПОЛУМ'Я

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

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

Процеси горіння класифікують за кількома ознаками:

1. За агрегатним станом компонентів горючої суміші в зоні горіння:

гомогенне - коли компоненти горючої суміші знаходяться в зоні горіння в однаковому агрегатному стані (горіння газів, пари рідин, газоподібних продуктів розкладання твердих горючих матеріалів).

гетерогенне - коли компоненти горючої суміші знаходяться в зоні горіння в різних агрегатних станах (горіння вуглецевого залишку, коксу, нелетучих металів).

2. За способом утворення горючої суміші:

кінетичне – горіння заздалегідь утвореної горючої суміші. Швидкість кінетичного горіння залежить від кінетики хімічної реакції.

дифузійне – утворення горючої суміші відбувається шляхом дифузії одного з компонентів в зону горіння.

3. За механізмом поширення горіння:

дефлаграційне – поширення полум'я відбувається шляхом пошарового запалення холодної горючої суміші за рахунок передачі тепла від зони горіння у підготовчу зону теплопровідністю і частково випромінюванням.

детонаційне - поширення полум'я відбувається за рахунок швидкого адіабатичного стиснення горючої суміші ударною хвилею, яка утворена продуктами згорання. (Самовільне виникнення детонації в газі, що горить, можливо при достатній швидкості поширення горіння - більше за 500 м/с, в той час як нормальна швидкість горіння не перевищує 10 м/с)

4. За газодинамічним режимом горіння:

ламіна́рне - компоненти горючої суміші надходять до зони реакції повільно, за законах молекулярної або слабкої конвекційної дифузії. Напрямок руху окремих частин потоку співпадає.

турбулентне - компоненти горючої суміші надходять до зони реакції інтенсивно, з інтенсивними завихреннями, перемішуванням продуктів горіння з вихідною сумішшю. Напрямок руху окремих частин потоку не співпадає.

Параметром, що характеризує газодинамічний режим горіння, є числове значення критерію Рейнольдса. Якщо $Re < 2300$, то полум'я відносять до ламінарного, якщо $2300 < Re < 10\ 000$ – полум'я перехідне, якщо $Re > 10\ 000$ – турбулентне.

Полум'я – це газовий об'єм, в якому відбуваються всі процеси, що пов'язані з підготовкою горючої суміші до горіння, і сам процес горіння.

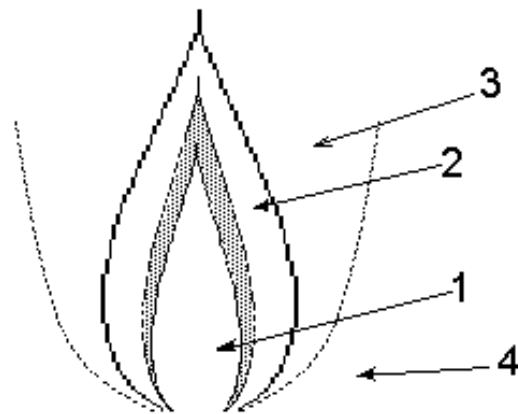


Рис. 1.1 – Схематична будова ламінарного полум'я

1 – підготовча зона; 2 – зона горіння; 3 – зона суміші продуктів горіння з повітрям; 4 – зона холодного повітря

В будові ламінарного полум'я можна виділити декілька зон, і в кожній із них відбуваються процеси, які можна умовно поділити на фізичні та хімічні.

В підготовчій зоні первинним є фізичний процес попереднього нагріву

горючої суміші (кінетичне горіння) або горючої речовини (дифузійне горіння). Нагрів здійснюється за рахунок випромінювання від зони горіння та за рахунок теплопровідності від гарячих продуктів горіння, які дифундують із зони горіння в підготовчу зону (прошарок суміші продуктів горіння та горючої речовини). Температура газів із наближенням до зони горіння поступово збільшується. Це призводить до протікання хімічних процесів – розкладання молекул на атоми, радикали чи функціональні групи. За наявності кисню в підготовчій зоні відбувається попереднє окислення, але цей процес не є горінням, тому що швидкість хімічної реакції ще недостатньо велика.

Зона горіння – тонкий шар, в якому протікає реакція окислення з великою швидкістю, тобто горіння. В зоні горіння виділяється тепло хімічної реакції та утворюються продукти горіння, які дифундують як в підготовчу зону (зона суміші продуктів горіння з горючою речовиною), так і в навколишнє середовище (зона суміші продуктів горіння з повітрям).

Якщо полум'я дифузійне, то хімічній реакції горіння передують фізичний процес сумішоутворення за рахунок молекулярної дифузії горючої речовини із підготовчої зони, а окислювача - із навколишнього середовища. Концентрація кисню в зоні горіння швидко зменшується при наближенні до зони парів та газів, і в підготовчій зоні дифузійного полум'я вміст кисню з повітря дорівнює нулю. Концентрація горючої речовини в зоні горіння також падає за рахунок проходження хімічної реакції.

В **зоні суміші продуктів горіння з повітрям** відбувається взаємна дифузія продуктів горіння в навколишнє середовище та окислювача із навколишнього середовища до зони горіння. При цьому відбувається попередній нагрів кисню та азоту повітря за рахунок променистої теплопередачі та теплопровідності від гарячих продуктів горіння і поступове охолодження продуктів реакції. Якщо в зоні горіння горюча речовина не встигла повністю згоріти, то в цій зоні відбувається доокислення продуктів неповного згорання.

Температура в різних зонах полум'я та в самій зоні горіння неоднакова.

Температура в підготовчій зоні значно нижча, ніж в зоні горіння.

Якщо розглядати дифузійне полум'я над поверхнею рідини, то можна сказати, що температура потоку парів біля поверхні рідини дорівнює температурі кипіння. Із наближенням до зони горіння температура парів збільшується: спочатку за рахунок випромінювання зони горіння, а потім внаслідок теплопровідності від гарячих продуктів згорання. Нагрів обумовлює термічну дисоціацію парів біля зони горіння.

Температура зони горіння найбільша, але вона також неоднакова в різних за висотою точках полум'я. Пояснюється це зміною складу суміші в зоні горіння та витратами тепла на нагрів компонентів, які надходять в цю зону.

В нижній частині зони горіння температура мінімальна, оскільки велика кількість тепла витрачається на нагрів холодного повітря, яке підсмоктується з навколишнього середовища.

В середній частині зони горіння теплота, яка виділяється внаслідок хімічної реакції, менша, ніж в нижній частині полум'я, що обумовлено дифузією в цю зону продуктів горіння. Проте, повітря, що поступає в цю зону, є більш нагрітим за рахунок його проходження через розжарені продукти горіння. Це компенсує втрати тепла і температура в середній частині зони горіння є найбільшою.

У верхній частині зони горіння теплота згорання зменшується за рахунок нестачі кисню, внаслідок збільшення товщини шару продуктів горіння. При цьому нагріте повітря, яке поступає в зону реакції, вже не компенсує всіх втрат тепла. Зменшується температура горіння, спостерігається утворення продуктів неповного згорання (сажі).

Температура в зоні продуктів горіння поступово падає за рахунок розбавлення гарячих продуктів горіння холодним повітрям, яке дифундує із навколишнього середовища.

Температура дифузійного полум'я завжди менша, ніж температура кінетичного полум'я. Це пояснюється тим, що тепловтрати із зони горіння за рахунок випромінювання у кінетичного полум'я значно менші, ніж у дифузійного, у якого інтенсивне світіння обумовлюється великою кількістю часток вуглецю. При кінетичному режимі відбувається горінні вже готової горючої суміші. В зоні горіння утворюються кінцеві продукти реакції які світла практично не випромінюють. Якщо в суміші, яка поступає для горіння, недостатньо окислювача, то в зоні горіння утворюються частки вуглецю, який не встиг прореагувати із киснем і полум'я набуває жовтого або жовтогарячого кольору.

Колір світіння дифузійного полум'я залежить від процентного вмісту кисню та вуглецю в горючій речовині. Якщо в складі горючої речовини достатньо кисню, то при термічному розкладанні попередньо утворюється оксид вуглецю CO , який потім згоряє з утворенням вуглекислого газу CO_2 . Отже, така горюча речовина горить безбарвним або блакитним полум'ям. Якщо в складі горючої речовини багато вуглецю то кисню, який шляхом дифузії надходить в зону горіння, не вистачає для повного згорання речовини. Це призводить до появи у полум'ї розжарених часток вуглецю, що надає йому яскравості.

Вуглець, який не прореагував в полум'ї, переходить в зону продуктів горіння у вигляді сажі. Полум'я в такому разі буде яскравим та кіптявим.

Дані про характер світіння полум'я залежно від складу горючої речовини наведені в таблиці №1.1.

Таблиця № 1.1 Залежність кольору дифузійного полум'я від складу горючої речовини

| Характер світіння полум'я | Вміст компонентів в горючій речовині, % | |
|---------------------------|---|--------------|
| | кисень | вуглець |
| безбарвне | більше 50 | до 50 |
| яскраве, без кіптяви | від 25 до 50 | від 50 до 75 |

| | | |
|----------------------|----------|-----------|
| яскраве, із кіптявою | менше 25 | більше 75 |
|----------------------|----------|-----------|

Залежність кольору полум'я від температури під час горіння деревини, вугілля і нафтопродуктів наведені в таблиці №1.2 [24].

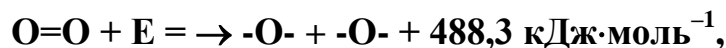
Таблиця № 1.2 Залежність кольору дифузійного полум'я від температури

| Колір | Температура, °С |
|-------------------|------------------------|
| слабо-червоний | 480 |
| криваво-червоний | 560 |
| темно-вишневий | 635 |
| середньо-вишневий | 670 |
| світло-вишневий | 740 |
| яскраво-червоний | 840 |
| рожево-червоний | 900 |
| оранжевий | 940 |
| лимонний | 1000 |
| світло-жовтий | 1170 |
| оранжево-жовтий | 1200 |
| білий | 1240 |
| яскраво-білий | 1400 |

Механізм протікання реакцій окислення в зоні горіння був сформульований російським ученим академіком А. Н. Бахом та, незалежно від нього, академіком К.Енглером у 1897 року і дістала назву “перекісної”. Сутність цієї теорії полягає в тому, що початкові продукти переходять у кінцеві продукти окислення через утворення проміжних продуктів реакції з високою реакційною спроможністю – перекисів. Схематично це явище можна записати так:

ГОРЮЧА РЕЧОВИНА + ОКИСНИК → ПЕРЕКИС → ПРОДУКТИ ГОРІННЯ

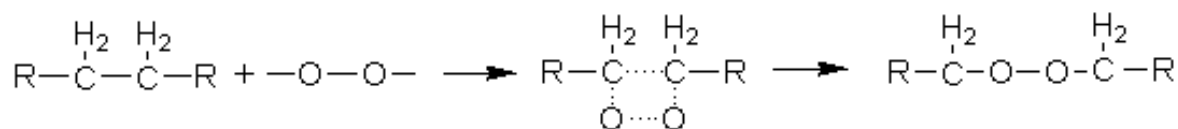
У звичайних умовах кисень повітря малоактивний і для вступу в реакцію окислення він повинен мати певний запас енергії за рахунок розриву одного або двох ковалентних зв'язків, якими поєднані атоми кисню в молекулі:



За відносно низьких температур, які характерні для зони підготовчих процесів, в окислювальному середовищі недостатньо енергії для утворення активного атомарного кисню (або така реакція йде з надзвичайно малою швидкістю).

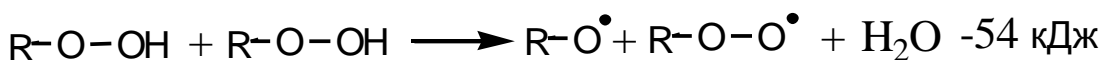
Розривання тільки одного зв'язку вимагає значно менших енергетичних витрат і тому утворення енергетично активної перекисної групи **-O-O-** відбувається з більшою ймовірністю, що і визначає швидкість окислювальних процесів.

Активний кисень (**-O-O-**) легко вступає в хімічну реакцію з молекулою горючої речовини з утворенням перекису. Спочатку кисень приєднується до вуглецевого ланцюга з утворенням проміжного продукту, після чого відбувається розрив одного з валентних зв'язків з утворенням безпосередньо перекису - речовини з характерною групою (**-O-O-**):



Енергія розриву зв'язку (**-O-O-**) в усіх видах перекисів надто низька і становить 150 - 160 кДж·моль⁻¹, тому всі перекиси надто реакційноздатні та

нестійкі речовини. При незначному температурному впливі вони розкладаються з утворенням оксидних, гідроксильних і вуглеводневих радикалів:



Радикали, що утворюються при розкладанні перекисів, є дуже активними і ініціюють продовження процесу окислення до утворення кінцевих продуктів реакції горіння.

Радикали також реагують із вуглеводнями, відриваючи від них атоми водню та генеруючи нові вільні радикали. Такий процес призводить до прискорення процесу окислення горючої речовини, бо енергетичні витрати при окисленні перекисами значно нижчі, ніж при окисленні молекулярним киснем.

Проте багато явищ, які протікають при окисленні ряду речовин, не можна пояснити за допомогою перекисної теорії. Це стало можливим тільки завдяки теорії ланцюгових реакцій, яку розробив М. М.Семенов.

Сутність ланцюгової теорії окислення полягає в тому, що вихідні речовини, горюча речовина (ГР) та окислювач (ОК), переходять у кінцеві продукти горіння (ПГ) через утворення активних центрів полум'я (АЦП) за ланцюговим механізмом. Схематично даний процес можна подати у наступному виді:



Ланцюговими називаються процеси, у яких перетворення вихідних речовин у продукти реакції здійснюється шляхом регулярного чергування кількох реакцій за участю *активних центрів*.

Активні центри - це частки, що мають великий запас енергії, який

обумовлює їх високу реакційну спроможність. Активними центрами можуть бути вільні атоми, радикали, функціональні групи тощо.

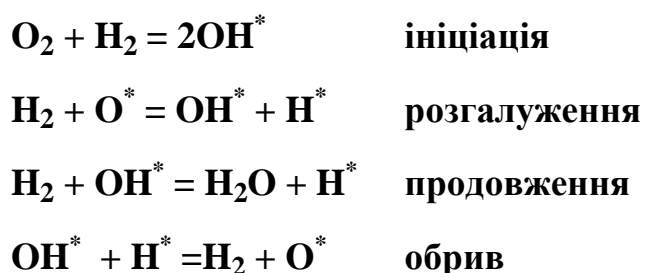
Будь-який тепловий імпульс (електричний розряд, зовнішній нагрів, опромінення) призводить до підвищення кінетичної енергії молекул горючої суміші. Кінетична енергія руху при співударянні переходить у потенційну енергію молекул і може витратитися на розрив хімічних зв'язків.

Розрізняють розгалужені та нерозгалужені ланцюгові реакції.

Якщо внаслідок взаємодії одного активного центру з молекулою вихідної суміші утворюється одна молекула кінцевого продукту та один новий активний центр, здатний продовжити реакцію, то така ланцюгова реакція називається **нерозгалуженою**. Прикладом нерозгалуженої ланцюгової реакції може бути реакція взаємодії водню та хлору.

Якщо внаслідок акту хімічної взаємодії одного активного центру з молекулою вихідної суміші утворюються два або більше активних центри, то така ланцюгова реакція називається **розгалуженою**.

Реакції окислення вуглеводнів за участю кисню відносяться до розгалужених. Одним з прикладів такої реакції може служити реакція горіння водню.



При взаємодії молекули водню з активним киснем утворюється два активні центри, надалі обидва вступають у взаємодію з атомами з утворенням декількох нових центрів реакції. Ланцюгова реакція буде одержувати нові розгалуження, в яких даний процес буде повторюватися.

Однак протікання будь-яких ланцюгових реакцій пов'язане не тільки з

утворенням нових активних центрів, але і з їх загибеллю. При зіткненні активних центрів між собою, з молекулами інертних продуктів, що знаходяться в горючій системі, або з поверхнями, що огорожують реакційний об'єм, активні центри можуть віддати свою надлишкову енергію і перестати бути активними, тобто відбувається загибель активних центрів. Таким чином відбувається гальмування реакції.

Загальна швидкість протікання ланцюгової реакції $\omega_{\text{лр}}$ визначається швидкістю початкового ініціювання молекул (ω_0), швидкістю розгалуження (ω_f) і швидкістю обриву (ω_g) ланцюга:

$$\omega_{\text{лр}} = \omega_0 + (\omega_f - \omega_g).$$

Якщо швидкість утворення активних центрів реакції більше, ніж швидкість обриву ланцюгів, концентрація активних центрів зростає в часі і реакція йде з прискоренням. Таке становище характерне для процесу горіння. Якщо швидкість утворення активних центрів реакції менша за швидкість обриву ланцюгів, в системі встановлюється стаціонарна концентрація вільних радикалів, відбувається гальмування хімічної реакції, і горіння припиняється.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЛУМ'Я КОНТАКТНИМ МЕТОДОМ (ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРМОПАРИ)

Мета роботи: Дослідити температурний режим в різних зонах дифузійного та кінетичного полум'я за допомогою термопари.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка — це газовий пальник, в трубці якого розміщено термопару. Трубка пальника може пересуватись відносно нерухомої термопари за допомогою регулювального гвинта. Таким чином можна заміряти температуру в різних зонах полум'я. Для захисту від коливань повітря, полум'я пальника захищене скляним циліндром.

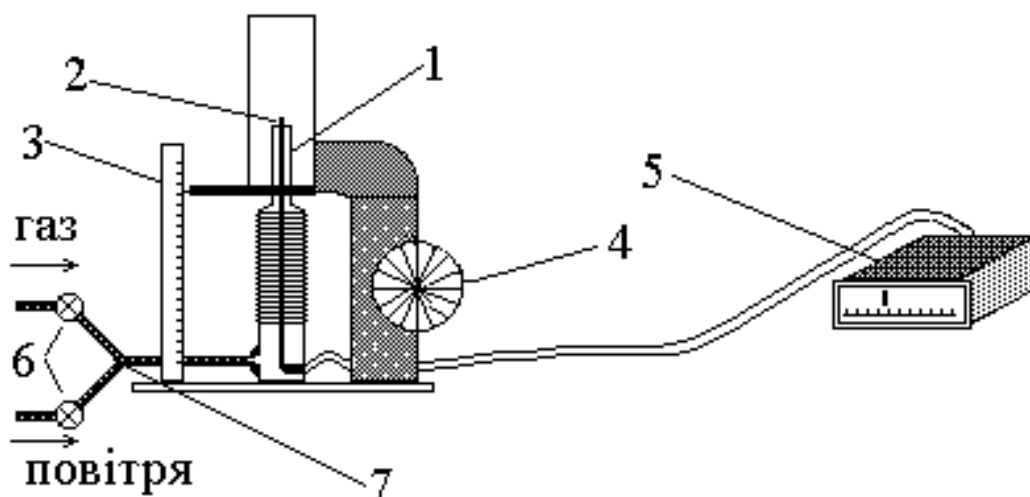


Рис. 1.2 — Схема лабораторної установки для визначення температурного режиму ламінарного полум'я

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1) газовий пальник; | 5) термометр - мілівольтметр; |
| 2) термопара; | 6) регулювальні крани; |
| 3) лінійка вимірювальна; | 7) магістраль подачі газу |
| 4) регулювальний гвинт; | |

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Відкрити кран подачі газу і запалити газовий пальник, відрегулювати висоту полум'я (2-2,5 см).
2. Визначити вид полум'я, зарисувати будову полум'я в лабораторний журнал, вказавши характерні зони полум'я.
3. Провести вимірювання температури в різних зонах полум'я, змінюючи положення трубки газового пальника відносно термопари регулювальним гвинтом. Результати вимірювань записати в таблицю результатів досліду.
4. Увімкнути подачу повітря в газову магістраль, для створення кінетичного

режиму горіння. Регулюючи подачу повітря за допомогою крану досягти голубого світіння полум'я. Повторити вимірювання температури в різних зонах кінетичного полум'я.

5. Після закінчення вимірювань вимкнути подачу газу і повітря.
6. За результатами досліджень побудувати графік зміни температури за висотою факелу полум'я для кінетичного і дифузійного режиму горіння. Зробити висновок.

Таблиця результатів досліду

| № з.п. | Точка вимірювання, мм. | Температура, °С | |
|--------|------------------------|-------------------|-------------------|
| | | Дифузійне полум'я | Кінетичне полум'я |
| 1. | | | |

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ДИФУЗІЙНОГО ПОЛУМ'Я ЗА ДОПОМОГОЮ ПІРОМЕТРА

Мета роботи: Дослідити температурний режим дифузійного полум'я досліджуваних речовин за допомогою пірометра.

Опис приладу

Пірометр складається зі спеціальної лампи, яка знаходиться всередині зорової труби між об'єктивом і окуляром, і блоку вимірювання температури (рис. 1.3).

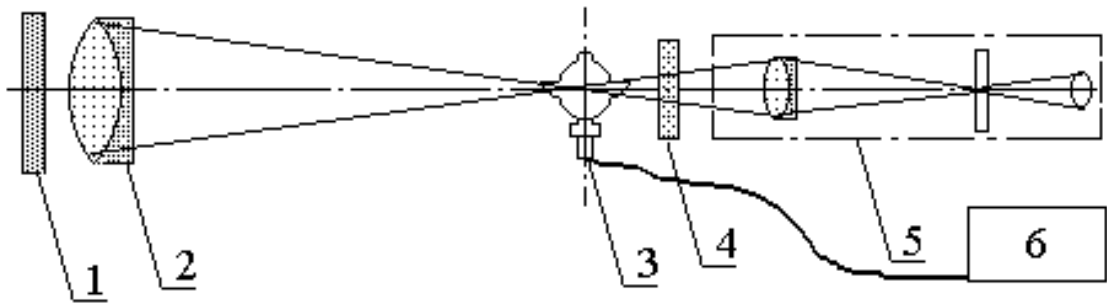


Рис. 1.3 – Схема оптичного пірометра

- | | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 – поглинаюче скло; | 4 – червоний світлофільтр; |
| 2 – об’єктив; | 5 – окуляр; |
| 3 – спеціальна лампа; | 6 – блок вимірювання температури. |

Поглинаюче скло служить для розширення діапазону вимірюваних температур. Червоний світлофільтр служить для монохроматизації світлового потоку.

Робота пірометра ґрунтується на вимірюванні яскравості випромінювання нагрітого об’єкта шляхом зрівнювання з яскравістю еталону. В якості еталону використовується пірометрична лампа з відомою залежністю температури спіралі розжарювання від величини струму, що протікає через неї. Наводячи об’єктив пірометра на джерело випромінювання, шляхом зміни сили струму, який протікає через спіраль розжарювання лампи, урівнюють яскравість спіралі із яскравістю джерела випромінювання (спіраль розжарювання зникає на фоні джерела випромінювання). Температуру джерела випромінювання визначають за величиною сили струму, який протікає через спіраль розжарювання лампи.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Встановити пірометр перед джерелом випромінювання і приєднати до стабілізованого джерела живлення.
2. Досягти чіткого зображення спіралі розжарювання лампи на фоні джерела випромінювання шляхом переміщення окуляра 5.

3. Досягти зникнення спіралі розжарювання на фоні джерела випромінювання, регулюючи силу струму лампи реостатом на блоці 6. (В разі перевищення яскравості джерела випромінювання у порівнянні з яскравістю спіралі пірометричної лампи, ввести поглинаюче скло 1). До зрівнювання яскравості підходити з боку більшої і з боку меншої яскравості пірометричної лампи по відношенню до яскравості джерела випромінювання.
4. Розрахувати середнє значення сили струму пірометричної лампи і визначити температуру джерела випромінювання. Результати занести в таблицю.

Таблиця результатів досліду

| № | Об'єкт дослідження | Сила струму, А | Температура, °С |
|----|--------------------|----------------|-----------------|
| 1. | | | |

По закінченні досліду зробити висновок про фактори, що визначають температуру й колір полум'я.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ РУХУ ДИФУЗІЙНОГО ПОЛУМ'Я

Мета роботи: Дослідити газодинамічний режим дифузійного полум'я в залежності від швидкості руху газової суміші

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із газового пальника, який приєднано до магістралі подачі газу через трубку Вентурі.

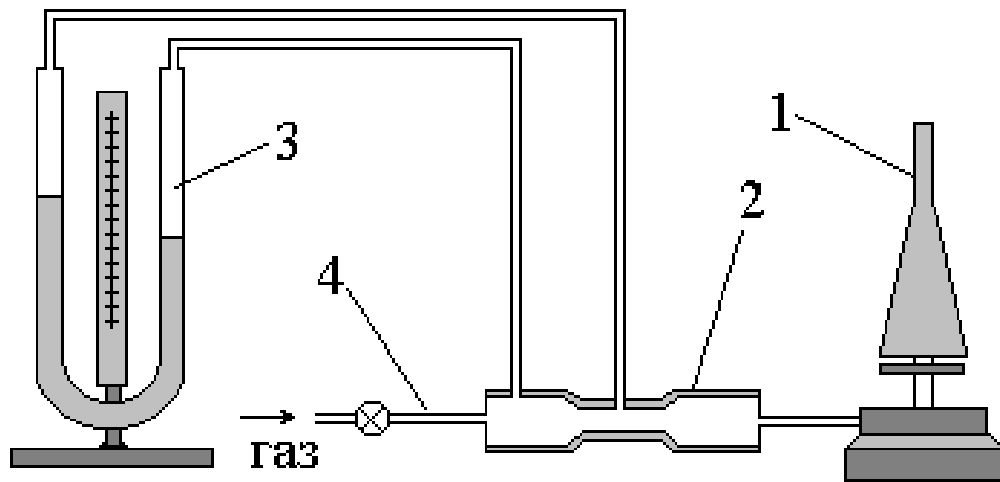


Рис. 1.4 – Схема лабораторної установки для вивчення газодинамічного режиму дифузійного полум'я

- | | |
|---------------------|---------------------------|
| 1) газовий пальник; | 3) U-подібний манометр; |
| 2) трубка Вентурі; | 4) магістраль подачі газу |

Трубка Вентурі це трубка із входним і вихідним отворами різного діаметра. В результаті пропускання газу через трубку Вентурі утворюється різниця тисків, яка залежить від швидкості руху газу і реєструється за допомогою U-подібного манометра. Змінюючи швидкість протікання газу, можна досягти різних режимів горіння (ламінарного, перехідного, турбулентного).

Порядок проведення лабораторної роботи:

1. Увімкнути подачу газу, запалити пальник, встановити мінімальну подачу газу.
2. Записати показання манометра, розрахувати швидкість руху газу і число Рейнольдса.
3. Визначити вид полум'я за газодинамічним режимом.
4. Збільшити подачу газу, записати показання манометра, розрахувати швидкість руху газу і число Рейнольдса, визначити вид полум'я.
5. Результати занести в таблицю результатів дослідів.
6. Після закінчення вимірювань вимкнути подачу газу.

7. Обробити результати дослідів, зробити висновок.

Обробка результатів дослідів

1. Розрахувати швидкість руху газу за формулою:

$$v_{\Gamma} = \sqrt{2g \frac{\rho_{\text{В}}}{\rho_{\Gamma}} \frac{\Delta H}{1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4}},$$

де g – прискорення вільного падіння, $9,8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$

$\rho_{\text{В}}$ - густина води = $1000 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$;

ρ_{Γ} - густина газу = $0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$;

d_1 = 1 мм – діаметр на вході трубки Вентурі;

d_2 = 9 мм – діаметр на виході трубки Вентурі;

ΔH - показання водяного манометра, м.

2. Розрахувати число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho_{\Gamma} v_{\Gamma} d_0}{\mu_{\Gamma}},$$

де v_{Γ} - швидкість руху газу, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$;

d_0 - діаметр отвору пальника, м;

μ_{Γ} - динамічна в'язкість газу, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-1}\text{с}^{-1}$.

Таблиця результатів дослідів

| № | Показання манометра, ΔH , м. | Швидкість руху газу, v_{Γ} , $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ | Число Рейнольдса, Re | Режим полум'я |
|---|--------------------------------------|--|------------------------|---------------|
|---|--------------------------------------|--|------------------------|---------------|

| | | | | |
|----|--|--|--|--|
| 1. | | | | |
|----|--|--|--|--|

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Особливості процесу горіння та його відмінності від інших видів окислювального процесу.
2. Класифікація процесів горіння.
3. Будова полум'я: зони, процеси, що відбуваються в кожній зоні, їх характеристики в дифузійному та кінетичному полум'ї.
4. Температурний режим полум'я.
5. Основні положення перекісної теорії горіння.
6. Основні положення ланцюгової теорії горіння. Розгалужені та нерозгалужені ланцюгові реакції.
7. Складання рівнянь реакцій горіння речовин в кисні та повітрі; визначення об'ємів повітря і продуктів згорання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Одним з основних аспектів процесу горіння є матеріальний баланс між вихідними речовинами та продуктами реакції горіння. На основі матеріального балансу розрахунковим шляхом можна визначити кількість повітря, необхідного для горіння, об'єм і склад продуктів повного згорання, температуру горіння й інші параметри, які визначають характер розвитку пожежі.

Розраховуючи об'єм повітря, необхідного для повного згорання одиниці кількості горючої речовини, і об'єм продуктів горіння, які утворюються при цьому, розрізняють *питому* і *повну, теоретичну* та *дійсну* кількість повітря, яка витрачається на згорання горючої речовини, та продуктів згорання.

Питома кількість повітря - кількість повітря, необхідна для згорання одиниці кількості горючої речовини (1 моль, 1 м³, 1 кг).

Повна кількість повітря - кількість повітря, необхідна для згорання певної кількості горючої речовини.

Теоретична кількість повітря - мінімальна кількість повітря, необхідна для повного згорання горючої речовини.

Дійсна кількість повітря - кількість повітря, яка надходить на згорання горючої речовини за заданих умов.

Мінімальний об'єм повітря, який необхідний для повного згорання одиниці кількості горючої речовини (1 моль, 1 м³, 1 кг), називається *питомим теоретичним об'ємом повітря* і позначається $v_{\text{п}}^0$.

В дійсності об'єм повітря, що надходить до зони горіння, відрізняється від теоретичного об'єму. Такий об'єм повітря, що приходить на одиницю

кількості горючої речовини, називається *питомим дійсним об'ємом повітря* і позначається v_{Π} .

Для характеристики ступеня забезпеченості повітрям використовують поняття *коефіцієнта надлишку повітря* (α_{Π}), який показує, у скільки разів кількість повітря, що дійсно надходить до зони горіння, відрізняється від теоретично необхідної кількості повітря для повного згорання горючої речовини:

$$\alpha_{\Pi} = \frac{v_{\Pi}}{v_{\Pi}^0} . \quad (2.1)$$

Отже, дійсний питомий об'єм повітря дорівнює:

$$v_{\text{пов}} = \alpha_{\text{пов}} \cdot v_{\text{пов}}^0, \text{ м}^3. \quad (2.2)$$

Частина повітря, що не витрачена на горіння, переходить у продукти горіння і називається *надлишком повітря*. Надлишок повітря представляє собою різницю між кількістю повітря, що дійсно поступає на горіння, і теоретично необхідною кількістю повітря:

$$\Delta v_{\text{пов}} = v_{\text{пов}} - v_{\text{пов}}^0 = v_{\text{пов}}^0 (\alpha_{\text{пов}} - 1), \text{ м}^3. \quad (2.3)$$

Якщо кількість повітря, що надходить до зони горіння, менше, ніж теоретично необхідна, відбувається неповне згорання горючої речовини і утворюються продукти неповного горіння – CO , $\text{C}_{\text{тв}}$ (сажа) та інші.

При дифузійному горінні кисень надходить до зони горіння з навколишнього середовища, де він міститься в кількості 21% від загального об'єму повітря. В процесі вигорання кількість кисню зменшується, а кількість продуктів горіння збільшується, частина повітря, що надходить,

змішується з продуктами горіння. Це уповільнює процес дифузії окислювача в зону горіння і, відповідно, зменшує швидкість реакції горіння. При цьому утворюються продукти неповного згорання, незважаючи на те, що загальна кількість повітря буде достатньою для повного окислення горючої речовини. Коли вміст кисню у повітрі зменшується до критичного значення (у більшості випадків 14-16%), полум'яне горіння припиняється, але для пористих і волокнистих матеріалів можливе гетерогенне горіння (тління), для підтримування якого достатньо приблизно 5 % кисню.

Таким чином, при дифузійному горінні коефіцієнт надлишку повітря практично завжди більше 1. Знаючи залишкову концентрацію кисню в продуктах горіння, можна визначити коефіцієнт надлишку повітря як відношення процентного вмісту кисню у повітрі до його вмісту у продуктах горіння:

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{21}{21 - \text{O}_2^{\text{ПГ}}} . \quad (2.4)$$

Отже, найменший коефіцієнт надлишку повітря при дифузійному горінні за умов, що утворюються лише продукти повного згорання, становить:

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{21}{21 - 14} = 3 .$$

Розрахунок матеріального балансу процесу горіння залежить від складу та агрегатного стану горючої речовини.

Теоретичне число молів повітря та продуктів горіння для згорання одного моля горючої речовини індивідуального складу можна визначити з рівняння реакції горіння.

Для індивідуальних речовин рівняння реакції горіння має вид:



де β – стехіометричний коефіцієнт рівняння реакції горіння;

$ГР$ – один моль горючої речовини;

$ПГ_i$ – i -ий продукт горіння;

n_i – число молів i -ого продукту горіння.

Сума $\sum n_i ПГ_i$ являє собою суміш продуктів повного окислення горючих елементів, що входять до складу горючої речовини (CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 , $HNaI$ тощо), а також негорючих газоподібних компонентів, що можуть міститися у вихідній горючій речовині (якщо це суміш газів).

Питоме теоретичне число молів повітря, яке необхідно для повного згоряння 1 моля речовини, можна визначити як:

$$n_{п}^0 = (1+3,76)\beta = 4,76\beta, \text{ моль}\cdot\text{моль}^{-1}. \quad (2.6)$$

Питоме теоретичне число молів продуктів горіння дорівнює сумі молів всіх продуктів горіння у рівнянні реакції горіння:

$$n_{пг}^0 = \sum n_{пг_i}, \text{ моль}\cdot\text{моль}^{-1}. \quad (2.7)$$

Азот, що залишився після реакції, як інертна речовина, переходить в продукти реакції.

При горінні речовини з надлишком повітря визначають питоме дійсне число молів повітря та продуктів горіння:

$$n_{п} = n_{п}^0 \cdot \alpha_{п}, \text{ моль}\cdot\text{моль}^{-1}; \quad (2.8)$$

$$n_{пг} = n_{пг}^0 + (\alpha_{п} - 1) n_{п}^0, \text{ моль}\cdot\text{моль}^{-1}. \quad (2.9)$$

Процентний склад продуктів горіння можна визначити за формулою:

$$\% \Pi \Gamma_i = 100 \frac{n_{\Pi \Gamma i}}{n_{\Pi \Gamma}}, \%. \quad (2.10)$$

Якщо горіння протікає з надлишком повітря, в продуктах горіння буде наявний кисень, а для визначення вмісту азоту необхідно врахувати й азот, який перейшов до складу продуктів горіння із надлишком повітря:

$$\% O_2 = 100 \frac{(\alpha_n - 1) \cdot \beta}{n_{\Pi \Gamma}}, \%; \quad (2.11)$$

$$\% N_2 = 100 \frac{\alpha_n \cdot 3,76 \cdot \beta}{n_{\Pi \Gamma}}, \%. \quad (2.12)$$

Однак, на практиці кількість речовини вимірюють не в молях, а в m^3 , якщо це газ, або в кг, якщо речовина знаходиться в конденсованому стані (рідина чи твердий матеріал). Отже в попередні формули потрібно буде підставити не число молів, а об'єм, який займає моль газу, або масу, яка еквівалентна молю речовини. В такому випадку вид формули для розрахунку кількості повітря та продуктів горіння буде залежати від того, в якому агрегатному стані знаходиться горюча речовина.

Треба пам'ятати, що 1 кмоль газу за заданих температури T та тиску P займає об'єм $V_\mu m^3$, який можна розрахувати за формулою:

$$V_\mu = 22,4 \cdot \frac{101,3 \cdot T}{273 \cdot P}, m^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}, \quad (2.13)$$

де T – задана температура, К;

P – заданий тиск, кПа.

Для горючих речовин у рідкому або твердому агрегатному стані необхідно враховувати, що 1 кмоль важить μ кг (μ – молярна маса горючої речовини, $\text{кг}\cdot\text{кмоль}^{-1}$). Тоді питомі об'єми (на 1 кг горючої речовини) повітря та продуктів горіння визначаються:

- питомий теоретичний об'єм повітря:
$$v_{\text{п}}^0 = \frac{V_{\mu}^{\text{п}}}{\mu} 4,76\beta, \text{ м}^3\cdot\text{кг}^{-1};$$
- питомий дійсний об'єм повітря:
$$v_{\text{п}} = \alpha \frac{V_{\mu}^{\text{п}}}{\mu} 4,76\beta, \text{ м}^3\cdot\text{кг}^{-1};$$
 - питомий теоретичний об'єм ПГ:
$$v_{\text{пг}}^0 = \frac{V_{\mu}^{\text{пг}}}{\mu} \sum n_{\text{пг}i}, \text{ м}^3\cdot\text{кг}^{-1};$$
 - питомий дійсний об'єм ПГ:
$$v_{\text{пг}} = v_{\text{пг}}^0 + \frac{V_{\mu}^{\text{пг}}}{\mu} (\alpha - 1) 4,76\beta, \text{ м}^3\cdot\text{кг}^{-1}.$$

При горінні будь-якої кількості горючої речовини:

- повний теоретичний об'єм повітря
$$V_{\text{п}}^0 = v_{\text{п}}^0 m_{\text{гр.}}, \text{ м}^3;$$
- повний дійсний об'єм повітря
$$V_{\text{п}} = v_{\text{п}} m_{\text{гр.}}, \text{ м}^3;$$
- повний теоретичний об'єм ПГ
$$V_{\text{пг}}^0 = v_{\text{пг}}^0 m_{\text{гр.}}, \text{ м}^3;$$
- повний дійсний об'єм ПГ
$$V_{\text{пг}} = v_{\text{пг}} m_{\text{гр.}}, \text{ м}^3,$$

де $m_{\text{гр.}}$ – маса горючої речовини, кг;

$V_{\mu}^{\text{п}}$ – молярний об'єм повітря за даної температури, $\text{м}^3\cdot\text{кмоль}^{-1}$;

$V_{\mu}^{\text{пг}}$ – молярний об'єм продуктів горіння за даної температури, $\text{м}^3\cdot\text{кмоль}^{-1}$.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Дослідити особливості процесу дифузійного горіння рідини в замкненому об'ємі.

Опис лабораторної установки

Установка включає в себе скляний ковпак об'ємом 5,5 л, під яким в тиглі спалюється задана кількість горючої рідини. Після припинення горіння в продуктах реакції за допомогою газоаналізатора вимірюється залишковий вміст кисню.

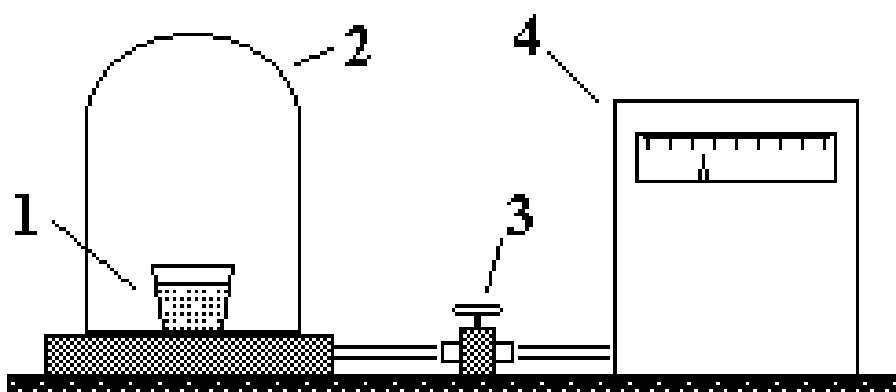


Рис. 2.1 – Схема установки для визначення складу продуктів горіння

- | | |
|----------------------|-------------------|
| 1) тигель з рідиною; | 3) кран; |
| 2) скляний ковпак; | 4) газоаналізатор |

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Включити газоаналізатор.
2. Закрити кран.
3. За допомогою піпетки налити в тигель 5 мл виданої викладачем горючої рідини. Тигель із рідиною зважити на лабораторних терезах.
4. Поставити тигель на місце, швидко запалити рідину і накрити ковпаком. При запалюванні, щоб уникнути втрат, не торкатися сірником поверхні рідини.
5. Після припинення горіння відкрити кран і за допомогою газоаналізатора заміряти й записати концентрацію кисню в продуктах реакції.

6. Зняти скляний ковпак, зважити тигель, визначити масу рідини, що залишилась в тиглі.
7. Експеримент повторити ще два рази, заздалегідь провітрюючи ковпак від продуктів горіння попереднього досліду. Результати вимірювань занести в таблицю й обчислити їх середньоарифметичні значення.

Таблиця результатів вимірювань

| № з/п | Початкова маса тиглю з рідиною $m_{\text{п}}, \text{Г}$ | Кінцева маса тиглю з рідиною $m_{\text{к}}, \text{Г}$ | Концентрація кисню в продуктах реакції, % об. |
|------------------|--|--|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| середнє значення | | | |

Обробка експериментальних даних

Розрахунки виконуються тільки для середніх величин.

Виконати прямий розрахунок: за експериментальним значенням маси рідини, що вигоріла, розрахувати концентрацію кисню в продуктах реакції і порівняти її з виміряною величиною.

Виконати обернений розрахунок: за виміряною величиною концентрації кисню в продуктах горіння обчислити масу рідини, що вигоріла, і порівняти її з експериментальним значенням.

Алгоритм прямого розрахунку.

1. Написати рівняння горіння виданої рідини.
2. Розрахувати масу рідини, що вигоріла, за формулою:

$$m_{\text{рід}} = m_{\text{п}} - m_{\text{к}}, \text{Г};$$

3. Обчислити теоретичний об'єм повітря, необхідний для згорання цієї маси рідини, $v_{\text{п}}^0$, л.

4. Визначити коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = \frac{v_{\text{п}}^{\text{пр}}}{v_{\text{п}}^0},$$

де $v_{\text{п}}^{\text{пр}}$ – об'єм повітря в приладі, 5,5 л.

5. Розрахувати з урахуванням α концентрацію кисню в продуктах горіння й обчислити відносне її відхилення від вимірної величини.

Алгоритм зворотного розрахунку.

Виконати обчислення за тими ж формулами, тільки в зворотному порядку, і визначити відносне відхилення обчисленого значення маси рідини, що вигоріла, від вимірної експериментально.

Розрахунки за матеріальним балансом: прямий і зворотний (тільки для середніх значень) занести в таблицю.

Таблиця результатів розрахунків

| Маса рідини, що вигоріла, г | | | Концентрація кисню, % об. | | |
|-----------------------------|------------|------------------------|---------------------------|------------|------------------------|
| Експеримент | Розрахунок | Відносне відхилення, % | Експеримент | Розрахунок | Відносне відхилення, % |
| | | | | | |

Зробити загальні висновки за результатами лабораторної роботи.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Складання рівнянь реакцій горіння речовин в кисні та повітрі.
2. Горіння із надлишком повітря. Коефіцієнт надлишку повітря α .

3. Продукти горіння, їх склад, класифікація.
4. Дим та його небезпека.
5. Визначення об'ємів повітря і продуктів згоряння при горінні індивідуальної речовини.
6. Визначення об'ємів повітря і продуктів згоряння при горінні складної речовини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГОРЮЧИХ ПАРІВ ТА ГАЗІВ У ПОВІТРІ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ СТУПЕНЯ ЇХ НЕБЕЗПЕКИ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Найважливішим принципом, який лежить в основі радикального рішення задачі забезпечення вибухонебезпеки, є виключення можливості утворення горючих систем за рахунок регулювання складу парогазової суміші.

Виникнення та поширення полум'я в сумішах пального й окислювача можливе тільки в обмеженому діапазоні їх концентрацій – **концентраційних межах поширення полум'я (КМПП)**. При спробі підпалити суміші, склад яких виходить за ці межі, стійке горіння не утворюється, і реакція, яка викликана нагріванням в локальній зоні, або не виникає, або затухає на деякій відстані.

Для сумішей, що містять горючу речовину й окислювач, розрізняють нижню і верхню концентраційну межу поширення полум'я φ_n і φ_v .

Нижня концентраційна межа поширення полум'я (НКМПП) - *найменша* концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, за якої *вже* можливе виникнення і поширення горіння.

Верхня концентраційна межа поширення полум'я (ВКМПП) - *найбільша* концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, за якої *ще* можливе виникнення і поширення горіння.

КМПП — одна з найважливіших характеристик вибухонебезпеки горючих газів і парів. Область концентрації горючої речовини, яка лежить між нижньою і верхньою КМПП, характеризується можливістю запалення і стійкістю горіння суміші в кінетичному режимі, називається "областю вибухонебезпечних концентрацій". За концентраційними межами суміші стають вибухобезпечними. Але якщо при концентраціях горючої речовини

менше НКМПП не можливо виникнення ніякого горіння, то при концентраціях горючої речовини більше ВКМПП можливе виникнення дифузійного горіння при виході струменя газу в навколишній простір і за наявності джерела запалювання (сумішоутворення до потрібних горючих концентрацій буде відбуватися в зоні горіння).

Концентраційні межі поширення полум'я можуть сильно змінюватися при зміні зовнішніх умов. Зміни КМПП можуть пояснюватись з точки зору теплового балансу тепловиділення і тепловіддачі в системі. Всі чинники, зміна яких приведе до збільшення тепловиділення в системі внаслідок реакції окислення, будуть розширювати КМПП (знижувати нижню КМПП і підвищувати верхню КМПП), а чинники, які збільшують тепловіддачу від системи в навколишнє середовище, будуть звужувати область запалення (збільшувати нижню КМПП і зменшувати верхню КМПП). Найбільше впливають на зміну КМПП:

- концентрація окисника в окислювальному середовищі;
- концентрація інертних газів (флегматизаторів);
- температура і тиск суміші;
- потужність джерела запалення (ДЗ);
- ступінь турбулізації газового потоку;
- добавки каталізаторів й інгібіторів.

Збільшення **концентрації кисню** в окислювальному середовищі від 21% в повітрі до 100% приведе до збільшення швидкості тепловиділення. Таким чином, підвищення концентрації кисню в окислювальному середовищі приведе до розширення зони вибухонебезпечних концентрацій. При зниженні концентрації окисника КМПП вужчають, і є таке мінімальне значення концентрації окисника, при якому нижня і верхня КМПП зіллються. Така концентрація кисню називається мінімальною вибухонебезпечною, і позначається $\Phi_{\text{МВКК}}$.

При введенні **інертних газів** в горючу суміш область вибухонебезпечних концентрацій вужчає, в основному, за рахунок ВКМПП., оскільки в сумішах при

НКМПП завжди є надлишок кисню. При ВКМПП кисню недостатньо для повного згорання, тому при збільшенні вмісту інертних добавок ВКМПП різко меншає. За певної концентрації флегматизатора, мінімальної флегматизуючої концентрації, суміш стає пожежобезпечною.

Зі збільшенням **початкової температури** область вибухонебезпечних концентрацій збільшується: трохи меншає НКМПП і збільшується ВКМПП, оскільки при цьому збільшується швидкість хімічної реакції і зменшується інтенсивність тепловтрат. При підвищенні температури на 100 К НКМПП, як правило, знижується на 8-10%, а ВКМПП підвищується на 12-16%.

Залежність КМПП від **тиску** для різних видів горючих речовин різна, однак для більшості вуглеводнів підвищення тиску приводить до розширення вибухонебезпечної області. Із збільшенням тиску суміші відбувається зменшення міжмолекулярних відстаней, що приводить до збільшення швидкості хімічних реакцій. Таким чином, НКМПП трохи меншає, а ВКМПП - збільшується.

Так, для ацетилено-повітряної суміші, у якої КМПП при тиску 101 кПа від 2,5 до 81%, підвищення тиску до 150 кПа приводить до зростання ВКМПП практично до 100%, а при тиску 270 кПа відбувається тепловий вибух суміші за нормальної температури.

При зниженні тиску нижче атмосферного область запалення всіх сумішей стає вужче.

При збільшенні **потужності джерела запалення**, наприклад, електричної іскри, діапазон концентрацій горючої речовини, в якому можливе запалення, розширюється, але існують межі, вище за які збільшення потужності іскри не приводить до розширення діапазону вибухонебезпечних концентрацій. Таку потужність називають "насиченою". При зниженні потужності джерела запалення відбувається звуження КМПП.

Із збільшенням **турбулентності**, що характеризується швидкістю руху газового потоку, КМПП вужчають. Це пояснюється тим, що при перемішуванні зростає тепловіддача, що ускладнює запалення.

Враховуючи, що концентраційні межі поширення полум'я можуть змінюватися при зміні зовнішніх умов, для забезпечення пожежної безпеки при роботі з горючими речовинами визначають не тільки самі концентраційні межі, але і безпечні концентрації, нижче або вище яких суміш гарантовано не буде запалюватися.



БК – область безпечних концентрацій;

НК – область небезпечних концентрацій;

ВНК – область вибухонебезпечних концентрацій;

ПНК – область пожежонебезпечних концентрацій.

Розрахункові методи визначення КМПП використовують у практичній діяльності.

Більш простим методом розрахунку концентраційних меж є розрахунок за емпіричною формулою:

$$\phi_{Н(В)}^0 = \frac{100}{a \cdot \beta + b}, \% , \quad (3.1)$$

де β – стехіометричний коефіцієнт реакції горіння;

a, b – константи, що визначаються для нижньої та верхньої КМПП (додаток 1).

Для більш точного визначення концентраційних меж поширення полум'я необхідно враховувати вплив хімічної будови горючої речовини на схильність її до окислення. Для розрахунку концентраційних меж можна використовувати наступну формулу:

$$\varphi_{\text{H(В)}}^0 = \frac{100}{\sum_{\mu=1}^s h_s m_s}, \% \quad (3.2)$$

де h_s – коефіцієнт відповідно s-ої структурної групи (додаток 2);
 m_s – число s-тої структурної групи в структурній формулі речовини.
 Безпечні концентраційні межі можна розрахувати за формулами:

$$\varphi_{\text{Hб}}^0 = 0,9(\varphi_{\text{H}}^0 - 0,21), \% \quad (3.3)$$

$$\varphi_{\text{Вб}}^0 = 1,1(\varphi_{\text{В}}^0 + 0,42), \% , \quad (3.4)$$

де $\varphi_{\text{H}}^0, \varphi_{\text{В}}^0$ - НКМПП і ВКМПП, %;

Масові КМПП визначаються за формулою:

$$\varphi_{\text{H(В)}}^/ = \varphi_{\text{H(В)}}^0 \frac{10 \cdot \mu}{V_{\mu}} \text{Г} \cdot \text{М}^{-3}, \quad (3.5)$$

де μ – молярна маса горючої речовини, кг·кмоль⁻¹;

V_{μ} – молярний об'єм газу за даних умов, м³·кмоль⁻¹.

$$V_{\mu} = 22,4 \cdot \frac{101,3\text{T}}{273\text{P}}, \text{м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}. \quad (3.6)$$

де T – температура за даних умов, К;

P – тиск за даних умов, кПа.

У тих випадках, коли у виробництві використовується кілька різних горючих речовин і вони утворюють **складну горючу суміш**, концентраційні межі такої суміші розраховують виходячи з правила Ле-Шательє, в основі якого припущення, що горючі властивості складної суміші адитивні:

$$\varphi_{\text{н(в)}}^0_{\text{сум.}} = \frac{\sum \varphi_i}{\sum \frac{\varphi_i}{\varphi_{\text{н(в)}} i}}, \%,$$

де $\varphi_{\text{н(в)}} i$ - нижня або верхня КМПП кожного i -го горючого компоненту, %;

φ_i - вміст i -го компоненту в суміші, %.

Але це правило не виконується для багатьох горючих сумішей, складові яких сильно відрізняються за своєю хімічною активністю.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

ВИЗНАЧЕННЯ ЗДАТНОСТІ ДО КІНЕТИЧНОГО ГОРІННЯ ПАРОВОПІТРЯНОЇ СУМІШІ ДОСЛІДЖУВАНОЇ РЕЧОВИНИ

Мета роботи: Визначити здатність до кінетичного горіння пароповітряної суміші, в залежності від концентрації досліджуваної речовини.

Опис лабораторної установки

Основою приладу є товстостінна скляна циліндрична посудина з потужним джерелом запалювання в ній (вибуховий циліндр). Верхня й нижня частина циліндру закриті кришками. На нижній кришці розташовано джерело запалювання, у верхній кришці є отвір, закритий гумовою пробкою на мотузці. Скляний циліндр закріплено на станині на двох вертикальних стійках. Кріплення скляного циліндру дає можливість обертати його у вертикальній площині.

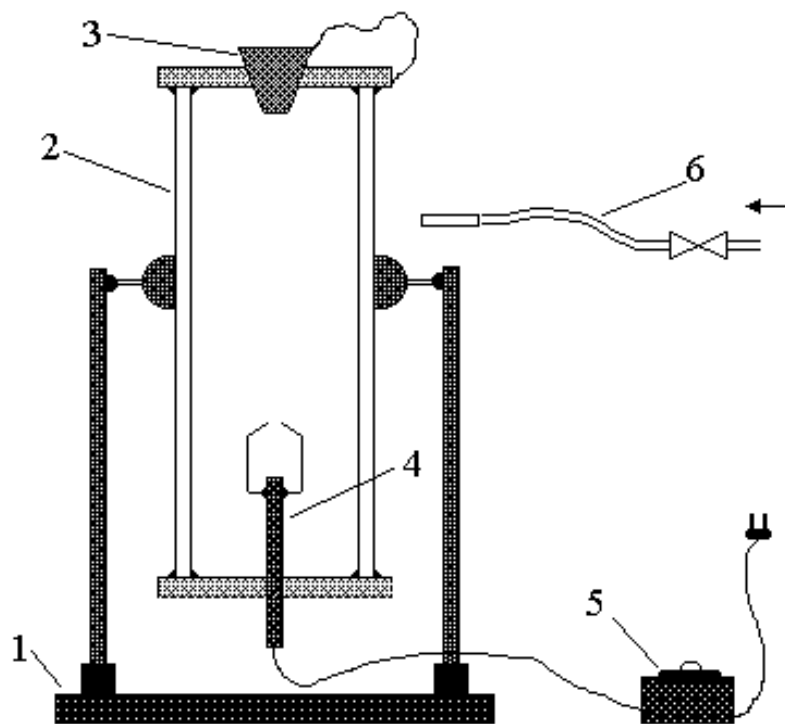


Рис. 3.1 – Будова приладу для визначення вибухонебезпеки пароповітряної суміші

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| 1) станина; | 4) джерело запалювання; |
| 2) скляний циліндр; | 5) високовольтний блок; |
| 3) пробка; | 6) магістраль подачі повітря |

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

1. Для заданої викладачем горючої речовини провести розрахунок об'ємних концентраційних меж поширення полум'я та визначити область вибухонебезпечних концентрацій.

1.1. За апроксимаційною формулою (3.1).

Для цього скласти рівняння реакції горіння речовини у повітрі, визначити стехіометричний коефіцієнт β та константи \mathbf{a} , \mathbf{b} для нижньої і верхньої концентраційних меж поширення полум'я (додаток 1) та

розрахувати нижню і верхню концентраційні межі поширення полум'я $\varphi_{\text{н}}^0$ і $\varphi_{\text{в}}^0$.

1.2. З урахуванням хімічної структури речовини за формулою (3.2).

Для цього за допомогою викладача визначити структурну формулу речовини, вид і кількість зв'язків. Значення коефіцієнтів h_s узяти із додатка 2. Заповнити таблицю та розрахувати нижню і верхню концентраційну межу поширення полум'я $\varphi_{\text{н}}^0$ і $\varphi_{\text{в}}^0$.

| Вид зв'язку | Число зв'язків, m_s | h_s для НКМПП | h_s для ВКМПП |
|-------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | | |

2. Провести розрахунок стехіометричної $\varphi_{\text{смк}}^0$ концентрації:

$$\varphi_{\text{смк}}^0 = \frac{100}{1 + 4,76\beta}, \%$$

3. Провести розрахунок безпечних концентраційних меж поширення полум'я $\varphi_{\text{нб}}^0$, $\varphi_{\text{вб}}^0$ за формулами (3.3) і (3.4).

4. Провести розрахунок масових концентрацій: стехіометричної, нижньої і верхньої концентраційних меж, нижньої і верхньої безпечних концентраційних меж поширення полум'я.

4.1 Розрахувати молярну масу горючої речовини μ , кг·кмоль⁻¹.

4.2 Розрахувати молярний об'єм газу за даних умов V_{μ} , м³·кмоль⁻¹.

$$V_{\mu} = 22,4 \frac{101,3\text{T}}{273\text{P}}, \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1},$$

де T – температура за даних умов, К;

P – тиск за даних умов, кПа.

4.3 Розрахувати масові концентрації за формулою:

$$\varphi' = \varphi^0 \cdot \frac{10 \cdot \mu}{V_{\mu}}, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3},$$

де φ' – масова концентрація речовини, $\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$;

φ^0 – відповідна об'ємна концентрація, %.

5. Розрахувати об'єм рідини, мл, що вводиться в реакційну посудину відповідно до розрахованих концентрацій:

$$V_{\text{рід}} = \frac{V_{\text{рп}} \cdot \varphi'}{\rho_{\text{рід}}}, \text{ мл.}$$

де $V_{\text{рп}}$ – об'єм реакційної посудини, мл;

ρ – густина речовини, $\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$ (визначають із довідника [9]).

Таким чином, одержують 5 значень об'ємів рідини, які в реакційному циліндрі утворюють нижню, нижню безпечну, стехіометричну, верхню і верхню безпечну концентрацію відповідно. Одержані значення заносять до таблиці результатів дослідів.

Проведення дослідів

1. Відкривають гумову пробку і у вибухову посудину за допомогою піпетки вводять об'єм досліджуваної рідини, що відповідає нижній безпечній концентрації.

2. Закривають отвір гумовою пробкою. Дають 2-3 хв. на випаровування, після чого перемішують вміст вибухового циліндру, обертаючи його у вертикальній площині.

3. Натискаючи кнопку високовольтного блока, вмикають джерело запалювання. Результати випробування "відмова" або "вибух" фіксують у таблиці результатів досліду.

Таблиці результатів досліду.

| № | Горюча речовина | Об'єм горючої речовини, мл. | Концентрація, % | Результат |
|----------|------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------|
| 1. | | | | |

4. Після проведення досліду реакційну посудину продувають повітрям та повторюють випробування наступної концентрації досліджуваної рідини.

5. По закінченні досліду роблять висновок про залежність небезпеки пароповітряної суміші від концентрації горючої речовини.

**ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ НЕБЕЗПЕКИ ФАКТИЧНОЇ
КОНЦЕНТРАЦІЇ ПАРІВ ДОСЛІДЖУВАНОЇ РЕЧОВИНИ**

Мета роботи: Визначити ступінь небезпеки фактичної концентрації пари досліджуваної речовини.

Для експериментального визначення фактичної концентрації горючих парів і газів застосовують різні прилади періодичної і постійної дії типу СТХ-5, СТХ-6, ЕТХ-1 тощо.

Опис лабораторної установки

Термохімічний сигналізатор СТХ-5А призначений для періодичного контролю довибухових концентрацій горючих парів і газів у повітрі 5-50% від φ_n .

Дія термохімічного сигналізатора ґрунтується на вимірюванні інтенсивності реакції окислення (згорання) горючих речовин на робочому чутливому елементі, який включено у мостову схему. Чутливий елемент являє собою електропровідний шарик із напиленням платини. При згоранні

на чутливому елементі горючих речовин його температура змінюється, відповідно змінюється опір, вимірювальний міст розбалансовується і в його діагоналі з'являється струм, пропорційний концентрації горючої речовини. Відхилення стрілки гальванометра показує величину концентрації.

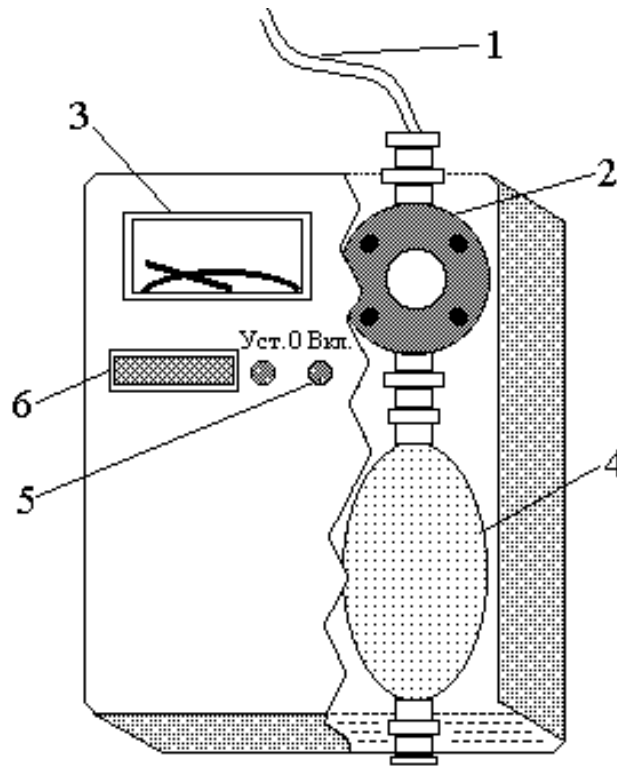


Рис. 3.2 — Схема приладу СТХ-5А для визначення довибухових концентрацій парів і газів

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1) входний патрубок; | 4) гумовий балон; |
| 2) датчик; | 5) індикатор “Вкл”; |
| 3) стрілочний індикатор; | 6) кнопка “Пуск” |

Для контролю працездатності джерела живлення слугує світлодіод “Вкл”, який повинен світитись при натисканні кнопки “Пуск”. Якщо світлодіод не світиться, необхідно замінити джерело живлення.

Кінцеве значення концентрації знаходять після перерахувань відповідно до конкретної горючої речовини за формулою:

$$A_{нj} = K_j \cdot A_j, \% , \quad (3.6)$$

- де $A_{нj}$ – розраховане значення концентрації речовини, яку контролюють,
% НКМПП;
 K_j – коефіцієнт перерахування показань приладу (додаток 3)
 A_j – показання приладу, % НКМПП CH_4 .

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення дослідів

1. Для заданої викладачем горючої речовини провести розрахунок області вибухонебезпечних концентрацій за апроксимаційною формулою (додаток 1) та з урахуванням хімічної структури речовини (додаток 2).
2. Визначити область безпечних концентрацій $\varphi_{н.без}^0$ і $\varphi_{в.без}^0$ за формулами (3.3) і (3.4).
3. Розрахувати фактичну концентрацію парів горючої речовини $\varphi'_{факт}$ в заданому об'ємі $V_{рп}$ (посудина із кришкою, ємністю 1 - 5 літрів).
 - 3.1. Розрахувати масу горючої рідини $m_{рід}$, що вводять в посудину, виходячи з об'єму горючої рідини $V_{рід}$ (задає викладач) та густини рідини $\rho_{рід}$ (визначають із довідника [9]):

$$m_{рід} = \frac{V_{рід}}{\rho_{рід}}, \text{ Г.}$$

- 3.2 Розрахувати молярну масу горючої речовини μ , кг·кмоль⁻¹.
- 3.3 Розрахувати молярний об'єм газу за даних умов V_{μ} , м³·кмоль⁻¹.

$$V_{\mu} = 22,4 \frac{101,3T}{273P}, \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}.$$

де T – температура за даних умов, К;

P – тиск за даних умов, кПа.

3.4 Розрахувати фактичну масову $\Phi'_{\text{факт}}$ та об'ємну $\Phi^o_{\text{факт}}$ концентрацію горючої речовини в заданому об'ємі за формулами:

$$\Phi'_{\text{факт}} = \frac{m_{\text{рід}}}{V_{\text{рп}}}, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$$

$$\Phi^o_{\text{факт}} = \Phi'_{\text{факт}} \frac{V_{\mu}}{10\mu}, \%$$

де $m_{\text{рід}}$ – маса рідини, г.

$V_{\text{рп}}$ – об'єм реакційної посудини, м³;

μ – молярна маса горючої речовини, кг·кмоль⁻¹;

V_{μ} – молярний об'єм газу за даних умов, м³·кмоль⁻¹.

4. Відміряти визначений об'єм горючої рідини, помістити у підготовлену посудину і закрити кришку.

5. Підготувати до роботи газовий сигналізатор. Робоче положення приладу – горизонтальне. Провести зовнішній огляд. Здійснити 8 - 9 натискань гумового балону, натиснути кнопку "Пуск", повинен загорітись світлодіод "Вкл". При натиснутій кнопці "Пуск" перевірити "нуль" індикатора. Якщо "нуль" індикатора не встановлений, обертаючи ось резистора "Уст. 0" встановлюють стрілку індикатора в нульове положення. Підготовку приладу до роботи проводити в приміщенні, яке не містить горючих парів і газів.

Проведення досліду

Для проведення вимірювань розташувати прилад в робочому положенні.

1. Відкрити кришку посудини, опустити вхідний патрубок приладу у посудину із парою горючої речовини, здійснити 8 - 9 натискань гумового балону.
2. Натиснути кнопку “Пуск” і через 3 с проводити натискання гумового балону із частотою – одне натискання у 2 с. Зафіксувати показання приладу.
3. Вміст горючого компонента $A_{нj}$ розрахувати за формулою (2.6). Фактичну концентрацію контрольованої речовини розраховують виходячи із значення НКМПП метану за формулою:

$$\Phi_{\text{факт}}^0 = \frac{A_{нj} \cdot \Phi_{н(\text{CH}_4)}}{100}, \%$$

де $\Phi_{н(\text{CH}_4)}$ – НКМПП метану %, беруть із довідника [9].

4. Результати вимірювань занести в таблицю.

Таблиця результатів досліду

| № | Речовина | Показання приладу, A_j , (% НКМПП CH_4) | Концентрація | |
|---|----------|--|-------------------------------------|---|
| | | | % НКМПП $A_{нj} = K_j \cdot A_j$ | $\Phi_{\text{факт}}^0 = \frac{A_{нj} \cdot \Phi_{н(\text{CH}_4)}}{100}$ |
| | | | | |

5. Зробити висновок про ступінь небезпеки фактичної концентрації горючої речовини.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1) Теорії поширення горіння в газових сумішах.
- 2) Суть теплової теорії поширення полум'я. Будова фронту полум'я.

- 3) Види кінетичного горіння.
- 4) Поняття про концентраційні межі поширення полум'я (КМПП). Їх вплив на пожежовибухонебезпеку технологічних процесів.
- 5) Способи розрахункового визначення КМПП.
- 6) Залежність КМПП від будови та концентрації горючої речовини, концентрації окислювача, інертних газів, каталізаторів, інгібіторів, тиску, температури суміші, потужності джерела запалювання.
- 7) Експериментальне визначення КМПП і ступеня небезпеки фактичної концентрації паро-газоповітряних сумішей (устрій приладу та спосіб вимірювання КМПП).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ВИЗНАЧЕННЯ СТАНДАРТНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ САМОСПАЛАХУВАННЯ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Самоспалахування – виникнення горіння в результаті різкого збільшення швидкості екзотермічних реакцій окислення, що виникають під дією зовнішнього нагріву всієї горючої системи.

Температура самоспалахування – найменша температура навколишнього середовища, при якій за умов спеціальних випробувань спостерігається самоспалахування речовини.

Іншими словами, при самоспалахуванні горюча суміш вся цілком нагрівається до такої температури, вище якої вона самостійно, без додаткового зовнішнього впливу, спалахує. Характерними відзнаками системи, яка досягає температури самоспалахування, є те, що тепловиділення в горючій системі за рахунок хімічної реакції окислення перевищує тепловіддачу від системи в навколишній простір, перехід від повільної реакції окислення до горіння відбувається за певний час – період індукції.

В гомогенній системі, в якій горюча речовина і окисник знаходяться в газоподібному стані, збільшення температури призводить до збільшення швидкості хімічної реакції за законом Ареніуса:

$$\omega_{\text{х.р.}} = \varphi_{\text{Гр}}^m \cdot \varphi_{\text{Ок}}^n \cdot k \cdot \exp\left(\frac{-E_{\text{акт}}}{R \cdot T}\right), \quad (4.1)$$

де $\varphi_{\text{Гр}}$ – концентрація горючої речовини, моль·с⁻¹;

$\varphi_{\text{Ок}}$ – концентрація окисника, моль·с⁻¹;

m, n – стехіометричні коефіцієнти в реакції горіння відповідно при горючій речовині й окислювачі;

- k** – константа швидкості хімічної реакції;
E_{акт} – енергія активації системи, кДж·моль⁻¹;
R – універсальна газова стала, кДж·моль⁻¹ К⁻¹;
T – температура суміші, що реагує, К;

Оскільки реакції окислення є екзотермічними, тобто ідуть з виділенням тепла, в системі відбудеться додатковий розігрів і, відповідно, зростання температури.

Інтенсивність тепловиділення в посудині об'ємом **V** буде становити:

$$q(+)=Q_{\text{н}} \cdot V_{\text{гс}} \cdot \omega_{\text{х.р.}} \quad , \quad (4.2)$$

де **Q_н** - теплота згоряння речовини, кДж·моль⁻¹;

V_{гс} – об'єм горючої суміші (посудини), м³.

ω_{х.р.} – швидкість хімічної реакції, моль·с⁻¹.

Тепло, що виділяється в ході реакції окислення, буде витрачатися на власний нагрів суміші і, відповідно, на підвищення швидкості реакції. Як тільки температура горючої газової суміші всередині посудини підвищиться за рахунок накопичення в ній тепла і стане вище температури стінок посудини, виникне тепловий потік в навколишнє середовище. Якщо теплопередача від газу з температурою **T** здійснюється до стінок посудини з поверхнею **S** і температурою **T₀** тільки за рахунок теплопровідності (тобто за відсутності конвекційних потоків і променистого переносу тепла), то швидкість передачі тепла не залежить від тиску, і її залежність від температури визначається з рівняння Ньютона:

$$q(-)=\alpha \cdot (T-T_0) \cdot S \quad , \quad (4.3)$$

де **T** - температура газової суміші;

T_0 - температура стінок посудини;

S - площа поверхні стінок посудини;

α - коефіцієнт тепловіддачі.

Якщо поступово підвищувати початкову температуру газу (тобто температуру стінок посудини T_0) при незмінному тиску, то зміни швидкості тепловіддачі за різних початкових температур буде представлено серією прямих ($q(-)'$, $q(-)''$, $q(-)'''$) однакового нахилу, що відповідає незмінному значенню коефіцієнта тепловіддачі α .

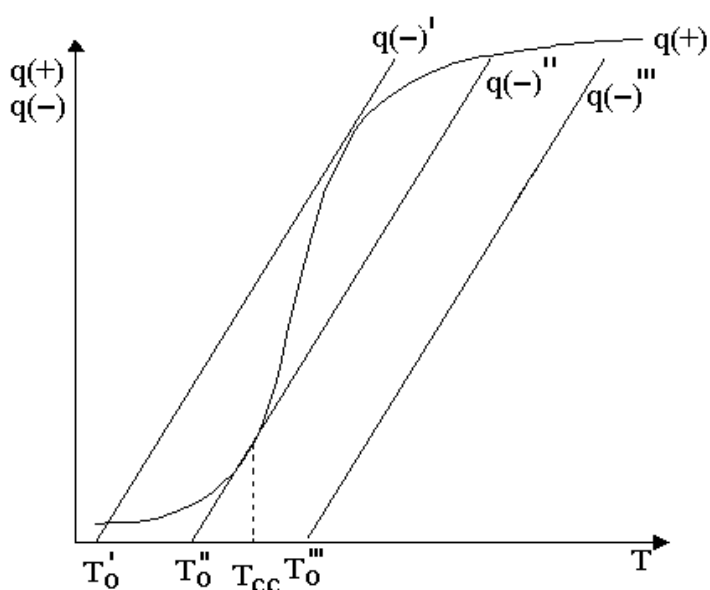


Рис. 4.1 —. Графік залежності інтенсивності тепловиділення і тепловіддачі від температури

Згідно теплової теорії, співвідношення між граничними мінімальними значеннями тиску та температури, за яких можливе запалення газу, визначається умовою дотику кривої швидкості реакції тепловиділення і прямої швидкості тепловіддачі в стінки посудини.

В точці дотику (при $T = T_{cc}$) виконуються умови:

$$q(+)=q(-); \quad \frac{dq(+)}{dT}=\frac{dq(-)}{dT}; \quad \frac{d^2q(+)}{dT^2}>0 .$$

Підставляючи вирази для швидкості тепловиділення (4.2) і тепловіддачі (4.3), отримуємо в точці дотику (при $T = T_{cc}$) співвідношення:

$$Q_H \cdot V_{гс} \cdot k \cdot \varphi_{г}^m \cdot \varphi_{ок}^n \cdot \exp\left(\frac{-E_{акг}}{R \cdot T}\right) = \alpha \cdot (T - T_0) \cdot S \quad (4.4)$$

За температури самоспалахування горіння речовини ще не виникає, воно виникне по досягненні температури горіння, яка перевищує температуру самоспалахування. Але за температури самоспалахування створюються умови, що призводять до стрибкоподібного підйому температури через різке збільшення швидкості хімічної реакції.

Проміжок часу, протягом якого горюча суміш саморозігрівається від температури стінок посудини T_0 до появи полум'яного горіння, називається **часом індукції** теплового вибуху.

Оскільки виникнення горіння можливе внаслідок різної зміни тепловиділення і тепловіддачі (збільшення тепловиділення, зменшення тепловіддачі або одночасна зміна $q(+)$ і $q(-)$), то температура самоспалахування і величина індукційного періоду теплового вибуху не є постійними величинами, а залежать від зміни інтенсивності тепловиділення і тепловіддачі. Температура самоспалахування та час індукції можуть бути використані як показник ступеня пожежної небезпеки горючих речовин та матеріалів.

На температуру самоспалахування речовин, а отже і на пожежну небезпеку того процесу, в якому використовується горюча речовина, будуть впливати три групи факторів, які характеризують: 1) вид горючої речовини; 2) склад горючої суміші; 3) умови, в яких знаходиться горюча суміш.

До першої групи належать:

теплотворна здатність горючої речовини Q_H (залежить від складу горючої речовини); середня довжина вуглецевого ланцюга (залежить від будови і просторової структури горючої речовини).

Температура самоспалахування у різних класів сполук залежить від схильності цих сполук до реакцій окислення. Окислювально-відновні реакції, що лежать в основі процесу горіння, протікають через розрив зв'язків в молекулах і утворення проміжних активних центрів. При збільшенні енергії розриву зв'язку важче йде реакція окислення, а отже, самонагрівання буде протікати повільніше. Рівність між інтенсивністю тепловиділення і тепловіддачі буде досягатися за більш високої температури, отже і температура самоспалахування буде при цьому підвищуватись.

Найбільшу температуру самоспалахування мають ароматичні вуглеводні. Наприклад, у бензолу температура самоспалахування 864 К, а циклогексану 543 К, ще менша температура самоспалахування у гексану 534 К.

Сполуки з ненасиченими зв'язками окислюються легше, ніж насичені вуглеводні з тією ж кількістю атомів вуглецю, отже і температура їх самоспалахування в основному нижче.

Кисневмісні похідні вуглеводнів (спирти, альдегіди) мають температуру самоспалахування зазвичай нижче у вуглеводнів з тією ж кількістю атомів вуглецю в молекулі.

Для вуглеводнів ізомерної будови із збільшенням розгалужень в молекулі температура самоспалахування підвищується. Так, н-бутан має температуру самоспалахування 704 К, а ізобутан 749 К.

В гомологічному ряду, як правило, найбільшу температуру самоспалахування має перший член, оскільки його молекула найбільш стійка до приєднання кисню. Із збільшенням довжини вуглецевого ланцюга і молекулярної маси енергія зв'язку С-Н зменшується. Відбувається зміна геометричної конфігурації молекули і полегшується реакція з окислювачем, при цьому T_{cc} знижується. При збільшенні довжини нерозгалуженого ланцюга в молекулах одного гомологічного ряду починаючи з C_9-C_{10} , енергія зв'язків відрізняється незначною мірою, а отже T_{cc} міняється мало.

Крім зменшення енергії зв'язку С-Н, із збільшенням кількості атомів

вуглецю в молекулі горючої речовини збільшується її молекулярна маса, відповідно збільшується теплота згоряння речовини, тому при протіканні реакцій окислення більше тепла піде на саморозігрівання системи. Це приводить до того, що рівність між тепловиділенням і тепловіддачею настає за більш низької температури, а отже температура самоспалахування зменшується.

До другої групи належать:

концентрація горючої речовини в суміші $\Phi_{гр}$; концентрація кисню в окислювальному середовищі $\Phi_{ок}$; наявність негорючих газів в суміші $\Phi_{нг}$; наявність каталізаторів або інгібіторів реакції окислення.

Швидкість хімічної реакції максимальна при стехіометричному співвідношенні горючої речовини і окислювача, тому за цієї концентрації горючої речовини спостерігається і мінімальне значення температури самоспалахування. За зміни концентрації горючої речовини від стехіометричної концентрації як у бік бідних сумішей (нестача горючої речовини і надлишок окислювача), так і у бік багатих сумішей (надлишок горючої речовини і нестача окислювача) температура самоспалахування підвищується. Це пояснюється тим, що при зменшенні концентрації горючої речовини чи окислювача (відносно стехіометричного співвідношення) зменшується швидкість хімічної реакції, а, отже, й інтенсивність тепловиділення. При цьому рівновага між тепловиділенням та тепловіддачею буде виконуватися лише за більшої температури, отже T_{cc} збільшується. Суміші, склад яких виходить за межі КМПП, не здатні до самоспалахування.

Оскільки вміст кисню в повітрі не перевищує 21%, то частина тепла, що виділилася при окисленні горючої речовини в повітрі, буде витрачатися на нагрів великої кількості інертного, того, що не бере участі в реакції окислення, азоту. При додатковому введенні в повітря кисню швидкість хімічної реакції, а отже і швидкість тепловиділення, збільшуються, а температура самоспалахування зменшується. При контакті деяких видів горючих речовин з чистим киснем можливе таке різке зниження температури

самоспалахування, що навіть за температури навколишнього середовища виникає тепловий вибух.

При розбавленні інертними компонентами суміші горючої речовини і окислювача відбувається зниження концентрації реагуючих речовин, при цьому знижується швидкість хімічної реакції, а, отже й інтенсивність тепловиділення. Крім того, частина тепла, що виділяється, витрачається на нагрів додаткового інертного газу. Внаслідок цього період індукції і температура самоспалахування будуть підвищуватися.

На температуру самоспалахування речовин впливає наявність в суміші каталізатора або інгібітору. Для підвищення температури самоспалахування в систему вводять добавки, що інгібірують, наприклад для зниження детонації палива у двигунах внутрішнього згорання (так звані **антидетонатори**).

За наявності в системі каталізатора швидкість хімічної реакції зростає, при цьому збільшується інтенсивність тепловиділення, а температура самоспалахування дещо падає.

До третьої групи можна віднести:

тиск в системі P ; об'єм $V_{гс}$ і діаметр посудини; площа поверхні тепловіддачі S ; коефіцієнт тепловіддачі α ; початкова температура суміші T_0 .

Збільшення об'єму реакційної посудини приводить до збільшення тепловиділення і, отже, до зниження температури самоспалахування. За зміни об'єму від десятків мілілітрів до 3-4 л температура самоспалахування знижується на десятки градусів. При подальшому збільшенні об'єму (більше за 5 л) зміна температури самоспалахування незначна.

Швидкість тепловіддачі визначається відношенням поверхні посудини до її об'єму за різних розмірів посудини: $S/V \sim d^2/d^3 \sim 1/d$. Відношення S/V називають "визначальним розміром". Це відношення впливає на залежність швидкості тепловіддачі від температури. При збільшенні величини визначального розміру можливе досягнення такого значення, при якому самоспалахування не відбувається. Тобто може бути знайдений такий

критичний діаметр посудини, при підвищенні якого відбувається тепловий вибух, а при його зменшенні - ні. Цей принцип використовується в основі технологічних апаратів – вогнеперешкоджувачів, які використовуються для запобігання поширення полум'я у горючих системах в технологічному обладнанні. Вогнеперешкоджувачі – спеціальні пристрої різної конструкції (щілини, сітки, касети, гравійні засипки), принцип дії яких полягає в розбиванні горючої системи на маленькі об'єми і різкому збільшенні площі тепловіддачі. При цьому температура самоспалахування горючої системи різко підвищується і запалити таку суміш вже практично неможливо.

Підвищення початкової температури системи приводить до збільшення швидкості реакції окислення, а, отже, і підвищення інтенсивності тепловиділення. Крім того, за більш високої початкової температури суміші знижується інтенсивність тепловіддачі. Все це приводить до зниження температури самоспалахування.

Підвищення тиску в системі також спричиняє збільшення швидкості реакції окислення, а, отже, зниження температури самоспалахування. Однак потрібно враховувати ланцюгову природу процесу самоспалахування. Експерименти показують, що залежність температури самоспалахування від тиску дуже складна і залежить від виду горючої речовини.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Встановити експериментально стандартну температуру самоспалахування. Визначити фактори, що впливають на температуру самоспалахування.

Опис лабораторної установки

Стандартну температуру самоспалахування визначають за допомогою приладу СТС ГОСТ 12.1.044-89. Прилад СТС призначений для визначення

стандартної температури самоспалахування парів рідин, газів і речовин, що плавляться, методом "краплі".

Прилад являє собою термостат, який забезпечує рівномірне нагрівання реакційної посудини до заданої температури. Діапазон температур в межах 50-600° С. Реакційна посудина – конічна колба об'ємом 200 см³. Вимірювання температури здійснюється за допомогою каліброваних термопар, які розташовані у вибраних точках і знаходяться у тісному контакті із зовнішньою поверхнею колби. За температуру випробування приймають середнє значення між найменшою і найбільшою температурою, причому показання термопар між собою не повинні відрізнятись більше ніж на 1%.

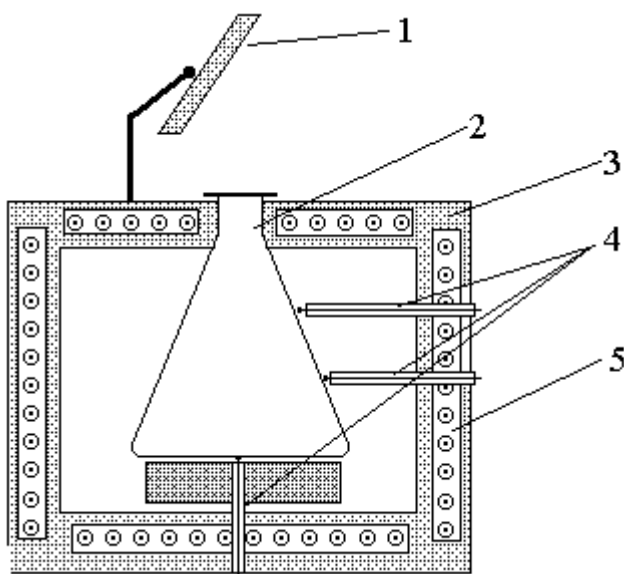


Рис. 4.2 – Прилад СТС для визначення стандартної температури самоспалахування

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1) оглядове дзеркало; | 4) термопари; |
| 2) реакційна колба; | 5) нагрівальні елементи |
| 3) корпус термостату; | |

Для дозування рідин використовують шприц або піпетку об'ємом 1 см³.

Спостерігають за реакцією у колбі за допомогою дзеркала, яке закріплено над колбою на висоті 250 мм.

Час індукції вимірюють за допомогою секундоміру.

Видалення продуктів реакції із колби здійснюється за допомогою стиснутого повітря від компресору.

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

1. Одержати від викладача завдання для проведення експериментальної частини роботи.

2. Для речовини, що видана викладачем, розрахувати: об'ємну та масову стехіометричні концентрації пари досліджуваної речовини в суміші із повітрям.

2.1. Скласти рівняння реакції горіння речовини у повітрі та визначити коефіцієнт β .

2.2. Розрахувати молярний об'єм газу за даних умов за формулою:

$$V_{\mu} = 22,4 \frac{101,3T}{273P}, \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}.$$

де T – температура за даних умов, К;

P – тиск за даних умов, кПа.

2.3. Розрахувати об'ємну та масову стехіометричну концентрацію речовини:

$$\varphi_{\text{смк}}^0 = \frac{100}{1 + 4,76\beta}, \%; \quad \varphi'_{\text{смк}} = \varphi_{\text{смк}}^0 \frac{10 \cdot \mu}{V_{\mu}}, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3},$$

де β – стехіометричний коефіцієнт реакції горіння;

μ – молярна маса горючої речовини, кг·кмоль⁻¹;

V_{μ} – молярний об'єм газу за даних умов, м³·кмоль⁻¹.

3. Визначити об'єм рідини, що слід вводити в реакційну посудину:

$$V_{\text{рід}} = \frac{V_{\text{колби}} \phi'_{\text{смк}}}{\rho_{\text{рід}}}, \text{ мл,}$$

де $V_{\text{колби}}$ – об'єм реакційної посудини, мл;

$\phi'_{\text{смк}}$ – масова стехіометрична концентрація речовини, г·м⁻³;

ρ – густина речовини, г·м⁻³.

4. Розрахувати орієнтовну стандартну температуру самоспалахування досліджуваної речовини.

4.1. За структурою речовини, виходячи із середньої довжини вуглецевого ланцюга в молекулі.

4.1.1. Записати структурну формулу речовини.

4.1.2. Визначити число кінцевих груп в молекулі m .

4.1.3. Розрахувати число ланцюгів n в молекулі за формулою:

$$n = \frac{m(m-1)}{2}.$$

4.1.4. Підрахувати довжину кожного ланцюга l_i і розрахувати їх середнє значення $l_{\text{сер}}$ за формулою:

$$l_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}$$

4.1.5. За таблицями додатків 5 або 6 визначити температуру самоспалахування досліджуваної речовини.

4.2. З урахуванням констант гомологічного ряду за формулою:

$$t_{cc} = at_{cc}^{алк} + b$$

де **a, b** – константи гомологічного ряду (додаток 4).

5. На основі стандартної температури самоспалахування розрахувати безпечні температури нагріву робочих поверхонь для досліджуваної речовини.

$$t_{без} \leq 0,8 t_{cc}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6. Визначити групу вибухонебезпечних сумішей (додаток 7).

Проведення дослідю.

1. Попередньо розігрівають термостат до температури на 50°C вище від розрахованої для виданої речовини температури самоспалахування.
2. В нагріту до визначеної температури колбу ввести розраховану кількість рідини і увімкнути секундомір. В момент самоспалахування парів в колбі вимкнути секундомір і відмітити час індукції за даної температури. Якщо самоспалахування не відбулось протягом 5 хв., випробування вважати "відмовою".

Увага: Випробування проводити при вимкненому електроживленні термостата. Пробу досліджуваної рідини вводити в центр колби за час, не більший за 2 с. Під час подачі рідини, уникати її попадання на стінки колби.

3. Продути реакційну колбу повітрям до припинення виділення парів і диму, після чого вона повинна прийняти необхідну температуру для наступного випробування. У випадку забруднення колби продуктами згорання її очищують або заміняють на чисту.

4. Якщо відбулось самоспалахування, то температуру термостата необхідно зменшити на 10 °С, а за "відмови" — збільшити і повторити дослід.
5. Шляхом послідовних випробувань визначити температуру, за якої відбувається самоспалахування, а на 2 °С нижче спостерігається "відмова". Самоспалахування за цієї температури повторити не менше двох разів.
6. Результати випробувань занести в таблицю результатів дослід:

Таблиця результатів дослід

| № дослід | температура, °С. | час індукції, с. | результат (відмова, спалах) |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------|
| 1. | | | |

7. По закінченні експерименту зробити висновок про величину стандартної температури самоспалахування досліджуваної речовини. Порівняти розраховану та визначену температуру самоспалахування, вказати фактори, що впливають на величину температури самоспалахування.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1) Основні положення теплової та ланцюгової теорії самоспалахування. Критичні умови самоспалахування.
- 2) Графічне та математичне відображення критичних умов самоспалахування за тепловою теорією.
- 3) Процеси, що відбуваються в горючій суміші під час нагрівання.
- 4) Період індукції. Стандартна та мінімальна температура самоспалахування.
- 5) Фактори, що впливають на температуру самоспалахування.
- 6) Методи розрахунку температури самоспалахування.
- 7) Характер впливу на температуру самоспалахування:
 - а) природи горючої речовини (склад, будова та молярна маса);
 - б) складу горючої суміші (концентрація горючої речовини, окислювача,

- каталізаторів та інгібіторів);
- с) умов, в яких знаходиться горюча суміш (об'єм та форма посудини, тиск, початкова температура).
- 8) Практичне значення температури самоспалахування горючої речовини для пожежної безпеки технологічних процесів.
- 9) Експериментальне визначення T_{cc} .

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ВИЗНАЧЕННЯ ЗДАТНОСТІ ДО САМОЗАЙМАННЯ

ЖИРІВ ТА ОЛІЙ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Всі горючі речовини при контакті з повітрям за певних температур починають окислюватися. Цей процес супроводжується виділенням тепла і в разі перевищення швидкості тепловиділення за рахунок протікання екзотермічних процесів над швидкістю тепловіддачі в навколишнє середовище виникає самонагрівання, яке по досягненні критичної температури призведе до появи горіння. Найменша температура, за якої виникає самонагрівання речовини, називається **температурою самонагрівання**.

Температура самонагрівання багатьох горючих речовин може дорівнювати або бути нижче кімнатної температури. Деякі такі речовини необхідно зберігати та використовувати за умов, коли неможливий їх контакт з повітрям (під захисним шаром води або мінерального масла, в герметично закритій посудині, в середовищі інертного газу тощо). Тому всі речовини поділяють на дві групи: речовини, які мають температуру самонагрівання вище 50°C, і речовини, які мають температуру самонагрівання нижче 50°C. Речовини першої групи здатні до горіння тільки при їх нагріванні ззовні. Речовини другої групи здатні до горіння без додаткового підведення тепла, тому що температура навколишнього середовища дорівнює або може перевищувати температуру їх самонагрівання. Процес виникнення їх горіння за рахунок самонагрівання під впливом внутрішніх екзотермічних процесів за відсутності джерела запалювання називається **самозайманням**.

До появи горіння призводить процес саморозігрівання горючої системи до критичної температури за рахунок утворення тепла всередині самої системи, незалежно від притоку тепла ззовні за сприятливих умов для

накопичення тепла в масі горючої речовини.

Відмінності між процесами самозаймання та самоспалахування:

1. При самоспалахуванні горюча система нагрівається вся повністю за рахунок нагріву стінок посудини ззовні, і умови протікання процесу самонагрівання залежать від того, до якої початкової температури ми розігріємо посудину. При самозайманні нагрів системи ззовні відсутній, і тому для виникнення горіння необхідне виконання певних умов: 1) первинний імпульс, який викликає хімічну реакцію окислення горючої речовини 2) підтримка певного температурного режиму, що приводить до акумуляції тепла в матеріалі. (За відсутності умови акумуляції тепла самозаймання матеріалів практично неможливе).

2. Оскільки для виникнення самозаймання необхідною умовою є акумуляція тепла, то горіння виникає не у всій системі, як це має місце при самоспалахуванні, а тільки в частині горючої системи, яка має найменшу тепловіддачу, - в так званому осередку самозаймання.

3. До самозаймання схильні лише речовини, які мають низьку температуру самонагрівання. Чим нижче температура самонагрівання речовини, тим більше ймовірність виникнення процесу самозаймання.

4. При самоспалахуванні горюча речовина завжди знаходиться в газоподібному агрегатному стані, а горіння має гомогенний кінетичний характер. Самозаймання ж може виникнути і без переходу конденсованої горючої речовини в паро-газоподібний стан. При цьому виникає дифузійне гетерогенне горіння - тління.

5. Самозайманню передуює порівняно тривалий процес самонагрівання матеріалу, оскільки лише внутрішні екзотермічні процеси призводять до підвищення температури системи. Тому період індукції при самозайманні значно більше, ніж при самоспалахуванні, і може досягати кількох тижнів і навіть місяців.

6. Самонагрівання при самоспалахуванні є результатом окислювальних процесів, первинним імпульсом яких служить тільки

тепловий нагрів системи ззовні. При samozайманні самонагрівання може бути ініційоване іншими процесами, такими як: тепловиділення в процесі життєдіяльності мікроорганізмів, теплота хімічної реакції окислення, тепло фізичних процесів, зовнішній тепловий імпульс.

В залежності від природи первинного теплового імпульсу, розрізняють чотири види samozаймання: мікробіологічне, хімічне, фізичне і теплове.

Оскільки підведення тепла до системи відсутнє, умови віддачі тепла при samozайманні мають визначальне значення.

Кількісний опис явища samozаймання ґрунтується на тепловому балансі між тепловиділенням і різними видами віддачі тепла. Тепловиділення відбувається внаслідок окислення матеріалу. Оскільки спочатку здійснюється окислення поверхні конденсованого горючого матеріалу, то швидкість такої гетерогенної реакції буде залежати від швидкості адсорбції і концентрації кисню на поверхні матеріалу. Тоді кількість тепла, яка виділяється при окисленні одиниці об'єму матеріалу, що самонагрівається, можна виразити:

$$q(+)=Q\omega_{xp}=Q\cdot\rho\cdot K\cdot\varphi, \quad (5.1)$$

де Q – питома теплота реакції окислення;

ω_{xp} – швидкість хімічної реакції;

ρ – густина скупчення матеріалу;

K – константа швидкості адсорбції;

φ – концентрація кисню.

Тепло, що виділилося, піде на нагрівання самої горючої речовини і окисника, частина тепла буде віддаватись в навколишнє середовище за рахунок теплопровідності та конвекції, піде на випаровування вологи та т.п. Сумарні втрати тепла можна виразити формулою:

$$q(-) = q_{\text{нагр.гр}} + q_{\text{нагр.пов.}} + q_{\text{тп}} + q_{\text{конв.}} + q_{\text{твт}} \quad (5.2)$$

$$q(-) = \rho_{\text{гр}} c_{\text{р гр}} \frac{dT}{d\tau} + \rho_{\text{пов}} c_{\text{р пов}} v_{\text{пов}} \frac{dT}{dy} + \lambda \nabla^2 T + \alpha S(T - T_0) + q_{\text{твт}} \quad (5.3)$$

де $q_{\text{нагр.гр}}$ – втрати тепла на нагрів горючої речовини;
 $q_{\text{нагр.пов.}}$ – втрати тепла на нагрів повітря;
 $q_{\text{тп}}$ – втрати тепла теплопровідністю;
 $q_{\text{конв.}}$ – втрати тепла за рахунок конвекції;
 $q_{\text{твт}}$ – втрати тепла на протікання інших ендотермічних процесів (випаровування води, що міститься в матеріалі);

$\rho_{\text{гр}}$ – густина скупчення горючої речовини;

$\rho_{\text{пов}}$ – густина повітря;

$c_{\text{р гр}}$, $c_{\text{р пов}}$ – теплоємність горючого матеріалу і повітря відповідно;

$\frac{dT}{d\tau}$ – швидкість нагрівання матеріалу;

$v_{\text{пов}}$ – швидкість надходження повітряного потоку;

$\frac{dT}{dy}$ – градієнт температури уздовж повітряного потоку;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

$\nabla^2 T$ – зміна в часі температурного поля;

α – коефіцієнт тепловіддачі;

S – поверхня тепловіддачі;

T_0 – температура навколишнього середовища.

Аналізуючи рівняння енергетичного балансу процесу самозаймання, можна сказати, що на протікання процесу самонагрівання найбільше будуть впливати такі чинники, як:

- тепловий ефект екзотермічних процесів;

- швидкість реакції окислення, яка залежить від концентрації окисника, природи речовини та величини поверхні окислення;
- теплофізичні характеристики матеріалу (його густина, теплоємність, теплопровідність);
- коефіцієнт тепловіддачі;
- початкова температура середовища;
- співвідношення об'єму системи і площі тепловіддачі.

Чим вище *теплотворна здатність* горючої речовини, тим більше тепла може виділитися при протіканні реакції окислення і тим легше почнеться процес самонагрівання, що приводить до самозаймання.

Велике значення в процесі самозаймання має приток повітря. Виділення тепла, внаслідок хімічної реакції окислення в середині горючого матеріалу, пропорційне концентрації окислювача, тому схильність системи до самозаймання визначається *доступом кисню повітря до поверхні горючої речовини*. Потік повітря в скупчення матеріалу, що окислюється, впливає не тільки на генерацію тепла, але і на виддачу тепла вихідним повітрям. Тому при збільшенні швидкості потоку повітря збільшується також інтенсивність тепловіддачі за рахунок тепловтрат на нагрів повітря і конвективну тепловіддачу.

Зазвичай процес самозаймання протікає при температурі навколишнього середовища не менше 10°C (за більш низьких температур різко зростає інтенсивність тепловіддачі).

Самозаймання виникає в тому випадку, коли *площа поверхні реагування значно більше зовнішньої поверхні матеріалу*. Критичне значення співвідношення зовнішньої поверхні матеріалу (площі тепловіддачі) до об'єму скупчення горючого матеріалу залежить від виду горючої речовини, складу окислювального середовища та зовнішніх умов.

Для *розрахункового визначення* температури самонагрівання і часу нагріву матеріалу до небезпечної температури С.І. Таубкіним були отримані емпіричні залежності, які враховують зміну температури самонагрівання від

геометричних розмірів досліджуваного матеріалу:

$$\lg t_{\text{сн}} = A_p + n_p \cdot \lg S_{\text{пит}} , \quad (5.5)$$

та період індукції від температури самонагрівання:

$$\lg t_{\text{сн}} = A_b - n_b \cdot \lg \tau , \quad (5.6)$$

де $t_{\text{сн}}$ – температура теплового самонагрівання, °С:

τ – час теплового впливу до самозаймання, години;

A_p , n_p , A_b , n_b – емпіричні коефіцієнти, які визначають для даної горючої речовини за довідниковими даними [9, 25].

$S_{\text{пит}}$ – питома поверхня зразка, м^{-1} , яка визначається як відношення повної поверхні тепловіддачі до об'єму матеріалу, в якому відбуваються екзотермічні процеси, за формулою:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\text{повн}}}{V} , \quad (5.7)$$

де $S_{\text{повн}}$ – повна зовнішня поверхня зразка, м^2 ;

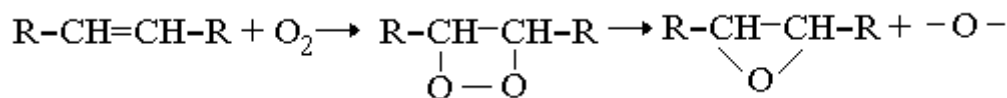
V – об'єм зразка, м^3 .

Одним із видів самозаймання є хімічне самозаймання. Хімічне самозаймання – виникнення горіння внаслідок тепловиділення, яке супроводжує хімічну реакцію при контакті горючої речовини й окисника, зокрема самозаймання жирів і масел. До самозаймання здатні масла і жири рослинного походження які являють собою суміш гліцеридів високомолекулярних ненасичених жирних кислот. Молекули цих гліцеридів мають ненасичені (подвійні) зв'язки, що визначають здатність рослинних масел до самозаймання.

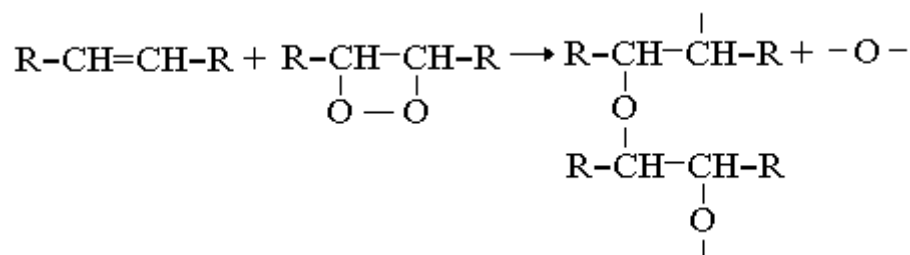
Самозаймання масел відбувається за рахунок тепловиділення при

окисленні і полімеризації, які протікають за подвійними зв'язках.

Згідно перекисної теорії А.Н.Баха, механізм окислення масла можна представити таким чином:



Відомо, що перокси легко розкладаються з утворенням активного кисню, який може взаємодіяти навіть з гліцеридами насичених кислот. Одночасно з окисленням протікають реакції полімеризації:



Тепло, що виділяється під час реакцій окислення і полімеризації, йде на розігрів горючого матеріалу. За наявності умов для акумуляції тепла починається процес самонагрівання із подальшим самозайманням.

Умови, що сприяють самозайманню рослинних масел:

- 1) вміст значної кількості гліцеридів ненасичених жирних кислот;
- 2) наявність великої поверхні окислення і малої поверхні тепловіддачі;
- 3) достатній доступ повітря;
- 4) температура навколишнього середовища не менше за 10°C;
- 5) певна щільність промасленого матеріалу.

Збільшення кількості ненасичених зв'язків в гліцериді збільшує здатність масла до самозаймання. Визначити кількість подвійних зв'язків можна за допомогою йодометричного методу.

Даний метод ґрунтується на здатності галогенів (йоду) приєднуватися до органічних сполук за подвійними зв'язками. За кількістю йоду, який

вступив в реакцію приєднання, можна судити про наявність ненасичених карбонових кислот і про здатність жиру або масла, до складу яких вони входять, до самозаймання. Критерієм такої оцінки служить **йодне число ($J_{\text{ч}}$)**, яке показує скільки грамів йоду приєднається за умов дослідження до 100 грамів масла. Якщо $J_{\text{ч}} < 50$ - масло не схильне до самозаймання, а якщо $J_{\text{ч}} > 50$ - схильне.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Дослідити умови хімічного самозаймання олії при контакті з киснем повітря, визначити здатність олії до самозаймання за допомогою приладу Маккея.

Опис лабораторної установки

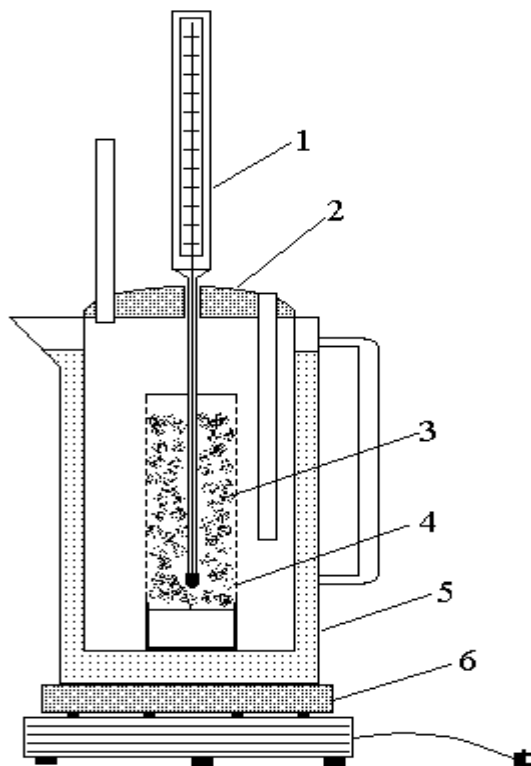


Рис. 5.1 — Прилад Маккея для визначення здатності жирів до самозаймання

- | | |
|------------------|-----------------------|
| 1) термометр; | 4) сітчастий циліндр; |
| 2) кришка; | 5) водяний термостат; |
| 3) вата з олією; | 6) електрична плитка |

Прилад Маккея складається з водяного термостата (циліндрична латунна посудина з подвійними стінками, заповнена водою), кришки з двома трубками для циркуляції повітря і центральним отвором для термометра, сітчастого циліндру в якому знаходиться вата, просочена досліджуваною олією, термометра, електричної плитки.

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

Залити в простір між стінками термостата воду і поставити нагріватись на електричну плитку. На початок заняття вода повинна бути нагріта до кипіння.

Проведення досліду.

1. Відважити 7г вати і 14 г досліджуваної олії. Олію зважувати в чашці, в якій потім можна просочити вату. Під час просочення олією вату періодично розпушувати для рівномірного розподілення олії.
2. Витягти сітчастий циліндр із термостата. Обгорнути вимірювальну частину термометра ватою, просоченою олією, і вставити в середину сітчастого циліндра. Решту вати розподілити між термометром і стінками циліндра, злегка ущільнюючи (обережно, щоб не розбити термометр).
3. Витягти термометр із сітчастого циліндра. Циліндр з ватою вставити в термостат на виступ і закрити кришкою.
4. Вставити термометр в центральний отвір кришки, таким чином, щоб його вимірювальна частина розташувалась в сітчастому циліндрі з ватою.
5. По досягненні температури вати 60°C заносити показання термометра в таблицю результатів досліду через кожні 2-5 хв.

| Час, хвилин | Температура, °С. |
|-------------|------------------|
| | |

6. Нагрівання води в термостаті припинити по досягненні температури вати 100°C.
7. По досягненні температури вати 150°C дослід припинити. Якщо температура вати не піднялась вище 100°C протягом години нагріву, досліджувану олію вважати не здатною до самозаймання.
8. По закінченні дослідів витягти термометр, вату викинути в таз із водою (не залишати просочену олією вату без догляду для запобігання самозаймання).
9. За результатами дослідів побудувати графік залежності температури вати від часу, зробити висновок про здатність до самозаймання досліджуваної олії.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

- 1) Самозаймання: визначення, сутність процесу.
- 2) Відмінність самозаймання від самоспалахування.
- 3) Класифікація процесів самозаймання.
- 4) Тепловий баланс між тепловиділенням і тепловіддачею при самозайманні.
- 5) Фактори, що впливають на процес самозаймання.
- 6) Сутність, умови виникнення, види хімічного самозаймання.
- 7) Хімічне самозаймання при контакті з водою.
- 8) Хімічне самозаймання при контакті з киснем повітря, самозаймання пірофорного заліза.
- 9) Фактори і умови самозаймання жирів і масел.
- 10) Методи визначення здатності олій та жирів до самозаймання.
- 11) Фізичне самозаймання вугілля, механізм процесу.
- 12) Мікробіологічне самозаймання рослинних матеріалів.

13) Механізм теплового самозаймання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ ФРОНТУ ПОЛУМ'Я

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Однією з фундаментальних властивостей процесу горіння є його здатність до поширення. Виникнувши внаслідок впливу джерела запалювання, полум'я надалі самостійно переміщається з деякою швидкістю в напрямі свіжої горючої суміші, при цьому його поширення супроводжується випромінюванням світла і тепла.

Поширення полум'я у однорідному горючому середовищу відбувається за кінетичним механізмом, внаслідок пошарового розігрівання початкової суміші за рахунок передачі тепла від зони горіння. Таке горіння називають дефлаграційним. Якщо поширення горіння відбувається в результаті швидкого адіабатичного стиснення, такий механізм поширення горіння називається детонацією.

При різкому локальному стисненні виникає хвиля стиснення - ударна хвиля, яка поширюється з великою швидкістю (порядку швидкості звуку, так що між шарами газу не встигає відбуватися теплообмін). Характерною особливістю ударного стиснення є сильне нагрівання газу (до 1500-1700K). Горюча суміш, нагріта сильною ударною хвилею до такої температури, самоспалахує.

Найбільш сприятливими умовами виникнення детонації є горіння в довгих трубах. Швидкий рух газу в трубі і його тертя об стінки приводять до витягування полум'я і прискорення горіння. Фронт полум'я починає вібрувати, відбувається його турбулізація. Таким чином перед фронтом полум'я відбувається стиснення початкової газової суміші і підвищення тиску в ній, утворюється ударна хвиля.

Стиснення в ударній хвилі практично миттєво збільшує густину і температуру газу, що в свою чергу спричиняє збільшення швидкості хімічної

реакції і, відповідно, швидкості поширення фронту полум'я. Із прискорення поширення полум'я відбувається наростання тиску в ударній хвилі. Нова ударна хвиля поширюється по вже стиснутому і нагрітому попередньою хвилею газу з більшою швидкістю. На певній відстані друга, більш швидка, хвиля наздоганяє першу, їх амплітуди додаються, в результаті виникає нова більш потужна ударна хвиля. Відбиті від огорожуючих поверхонь ударні хвилі можуть накладатися одна на одну, що різко збільшує амплітуду ударної хвилі і, відповідно, тиск.

Швидкість детонації визначається властивостями речовини і залежить тільки від її теплотворної здатності і від відношення теплоємностей і не залежить від кінетики реакції.

При поширенні горіння вихідну горючу суміш (ГС) від продуктів горіння (ПГ) відмежовує вузька зона - фронт полум'я (ФП) (див. рис. 6.1).

Фронт полум'я - об'єм системи, в якому протікає хімічна реакція взаємодії горючої речовини з окислювачем. У цій зоні утворюються продукти горіння, виділяється теплота згоряння і температура підвищується до температури горіння.

Нормальна швидкість поширення горіння u_n - швидкість, з якою рухається фронт полум'я відносно нерухомого горючого газового середовища:

$$u_n = \frac{dx}{d\tau}, \quad (6.1)$$

де x - відстань, яка пройдена фронтом полум'я у нерухомому газовому середовищу, по нормалі до поверхні фронту за час τ .

Значення нормальної швидкості горіння лежить в межах від кількох десятків сантиметрів до кількох метрів в секунду і залежить, передусім, від складу горючої суміші (співвідношення вмісту горючої речовини, окислювача, інертних компонентів), її теплофізичних параметрів, початкової температури, тиску тощо.

Однак, розширення гарячих продуктів горіння, що утворилися, дає відчутне додаткове зміщення поверхні горіння, тому швидкість поширення фронту полум'я $u_{фп}$ є більшою, ніж нормальна швидкість горіння.

За рівності швидкості витікання горючої суміші і швидкості руху фронту полум'я встановлюється **стаціонарне**, нерухоме полум'я коли кількість горючої суміші, що згоряє, компенсується кількістю горючої суміші, що надходить. Таке горіння можна спостерігати на газовому пальнику

Нестаціонарне полум'я утворюється, коли швидкість руху горючого газу відрізняється від швидкості поширення фронту полум'я:

стаціонарне

$$u_{фп} = u_{гс};$$

нестаціонарне

$$u_{фп} > u_{гс} - \text{проскок полум'я}$$

$$u_{фп} < u_{гс} - \text{зрив полум'я}$$

Значення швидкості поширення фронту полум'я в газових сумішах дозволяє визначати безпечні швидкості транспортування газоповітряних сумішей.

При дефлаграційному горінні фронт полум'я рухається в просторі за рахунок передачі тепла із зони реакції в свіжу горючу суміш. Під дією цього тепла відбувається розігрівання суміші до критичної температури, внаслідок чого відбувається різке збільшення швидкості хімічної реакції, що закінчується виникненням полум'яного горіння. Оскільки тепловий потік передається безперервно, відбувається постійне послідовне запалення нових порцій горючої суміші.

У фронті полум'я внаслідок протікання хімічної реакції концентрація початкових компонентів знижується до нуля, а температура підіймається до температури горіння. Таким чином, в досить вузькій зоні відбуваються різкі якісні зміни в газовій суміші. Однак відомо, що процес горіння може початися тільки при досягненні деякої критичної температури. Така температура значно перевищує початкову температуру суміші, тому було зроблене припущення про наявність зони підготовчих процесів.

Фронт полум'я прийнято розмежовувати на підготовчу зону (ПЗ) і зону хімічної реакції (ЗР) (див. рис.6.1). У підготовчій зоні швидкість хімічної реакції ω_{xp} ще мала, однак в ній відбувається найбільша зміна температури внаслідок передачі тепла із зони реакції, та підігрівання горючої суміші до критичної температури. У зоні реакції проходить процес горіння, з яким пов'язана основна частка тепловиділення і утворення продуктів горіння (ПГ). Інтенсивна реакція в цій зоні підтримується дифузійним перенесенням складових горючої суміші із підготовчої зони.

Розподіл температури T , швидкості хімічної реакції ω_{xp} і концентрації горючої речовини $\phi_{гр}$ у фронті полум'я має наступний вид:

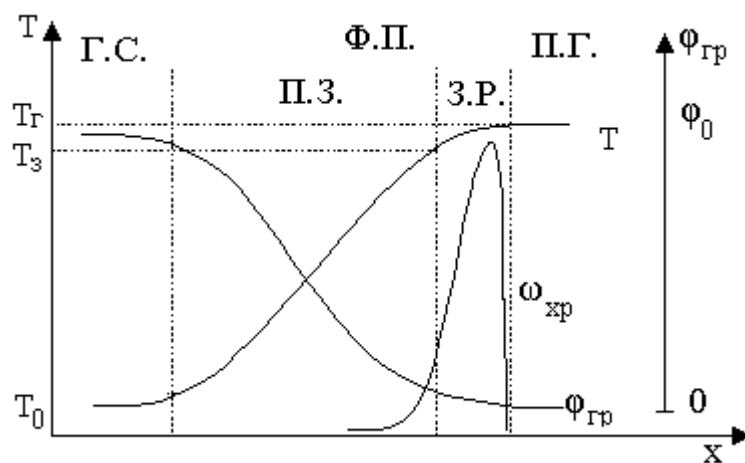


Рис. 6.1 — Зміна температури, концентрації горючої речовини і швидкості хімічної реакції у фронті ламінарного полум'я

T_0 – початкова температура газової суміші; $T_з$ – температура займання; $T_{гор}$ – температура горіння; ϕ_0 – початкова концентрація горючої речовини, ω_{xp} – швидкість хімічної реакції окислення

Загальне рівняння теплового балансу має вид:

$$\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} - c_p \rho u_n \frac{dT}{dx} + Q_H \omega_{xp} = 0$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності газової суміші;
 T – температура газової суміші;
 c_p – масова теплоємність газової суміші при постійному тиску;
 ρ – густина газової суміші;
 u_n – нормальна швидкість поширення фронту полум'я;
 Q_n – тепловий ефект реакції;
 ω_{xp} – швидкість хімічної реакції окислення;
 x – координата по нормалі до поверхні фронту полум'я.

Перший член рівняння характеризує тепловий потік внаслідок молекулярної теплопровідності, другої - внаслідок конвекційного потоку, третій - внаслідок тепла хімічної реакції.

Рішення рівняння, з урахуванням того, що в підготовчій зоні можна нехтувати тепловиділенням хімічної реакції ($Q_n \omega_{xp} = 0$), температура на поверхні фронту полум'я дорівнює температурі горіння $T_{гор}$, а в зоні реакції відбувається незначна зміна температури газової суміші, тому тут конвекційний потік можна прийняти рівним нулю ($c_p \rho u_n dT/dx = 0$), дає наступне рівняння для визначення нормальної швидкості поширення полум'я:

$$u_n = \frac{\sqrt{\frac{2Q_n \omega_{xp} \lambda R T_{гор}^2}{E_{акт}}}}{c_p \rho (T_{гор} - T_o)}$$

На швидкість поширення полум'я у газоповітряній суміші впливають наступні чинники:

- вид горючої речовини (теплотворна здатність горючої речовини);
- склад горючої суміші (концентрації горючої речовини, окислювача, флегматизатора, наявність інгібіторів або каталізаторів, теплофізичні

характеристики газової суміші ($\lambda, \square C_p, \rho$);

- умови, в яких знаходиться газова суміш (тиск, початкова температура).

В результаті горіння утворюються продукти згорання і відбувається їх теплове розширення. Якщо горіння відбувається в замкненому об'ємі або з великою швидкістю, то воно супроводжується вибухом.

Вибух - це швидке екзотермічне згорання, що супроводжується різким виділенням значної кількості енергії і утворенням стиснутих газів, здатних виконувати роботу.

Горіння при вибуху відбувається дуже швидко, і гази, що утворилися, не встигають розширитися. Такий процес називається **адіабатним і ізохорним**, тобто без тепловтрат в навколишнє середовище, при постійному об'ємі. Енергія вибуху - це зміна внутрішньої енергії системи між кінцевим і початковим станом, яка може бути розрахована за формулою.

$$Q_{\text{виб}} = Q_{\text{н}} + R \cdot T_0 \cdot \Delta n, \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1} \quad (6.2)$$

де $Q_{\text{н}}$ – нижня теплота згорання, $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$;

R – універсальна газова стала $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ K}^{-1}$;

T_0 – початкова температура, K;

Δn – різниця між числом молів продуктів горіння і вихідної суміші.

Оскільки згорання горючої суміші за рахунок великої швидкості реакції відбувається без теплового розширення і, отже, без зміни об'єму середовища, то для розрахунку тиску при вибуху можна використати формулу:

$$P_{\text{виб}} = \frac{P_0 \cdot T_{\text{виб}} \cdot \sum n_{\text{пг}}}{T_0 \cdot \sum n_{\text{поч}}}, \text{ кПа} \quad (6.3)$$

де P_0 – початковий тиск горючої суміші, кПа;

T_0 – початкова температура горючої суміші, K;

$T_{\text{виб.}}$ – температура продуктів вибуху, К;

$\Sigma n_{\text{поч.}}$ – число молів вихідної суміші;

$\Sigma n_{\text{пр}}$ – число молів продуктів горіння.

При вибуху стехіометричної суміші температура горіння має найбільше значення, отже, і тиск вибуху буде максимальним.

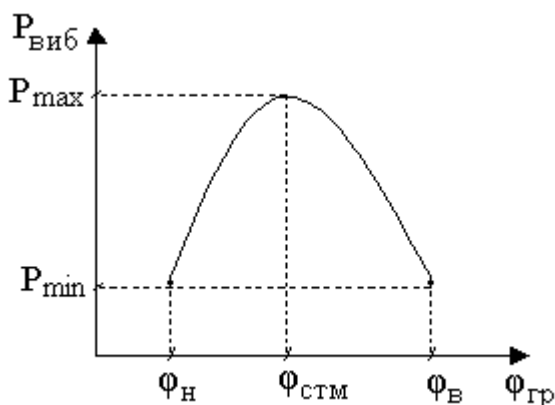


Рис. 6.2 – Залежність тиску вибуху від концентрації горючої речовини в суміші

При заміні повітря в горючій суміші киснем тиск вибуху різко зростає, тому що знижується кількість молів початкової суміші (**1 моль ГР + β молів O_2** замість **1 моль ГР + $4,76 \cdot \beta$ молів повітря**), при цьому зростає температура вибуху (не витрачається тепло на нагрівання інертного азоту повітря).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Дослідити залежність швидкості руху фронту полум'я від концентрації горючої речовини. Визначити фактори, що впливають на лінійну швидкість поширення фронту полум'я.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із скляної труби, яка розміщена на

станині може підніматись на шарнірі. В середині труби розміщено іскровий розрядник, за допомогою якого запалюється суміш досліджуваної речовини з повітрям. З цього ж боку приєднано шланг подачі повітря для продування труби чистим повітрям після проведення досліду. З протилежного боку знаходиться засувка, яка закриває отвір труби і з'єднана із кінцевим вимикачем. Запалювання горючої суміші здійснюється шляхом подачі на іскровий розрядник струму від високовольтного трансформатора. Час, за який полум'я пройде від розрядника до засувки, фіксується за допомогою таймера.

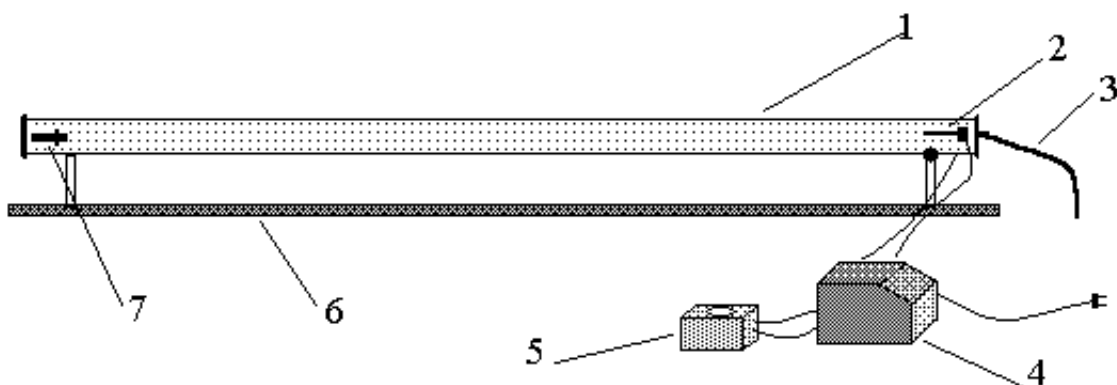


Рис. 6.3 — Лабораторна установка для визначення швидкості поширення фронту полум'я

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| 1) скляна труба; | 5) таймер; |
| 2) іскровий розрядник; | 6) станина; |
| 3) шланг подачі повітря; | 7) кінцевий вимикач |
| 4) високовольтний трансформатор; | |

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

1. Одержати від викладача речовину для проведення дослідження.
2. Провести розрахунок об'ємної та масової стехіометричної, нижньої і верхньої концентраційної межі поширення полум'я заданої речовини.

2.1. Скласти рівняння реакції горіння, визначити стехіометричний коефіцієнт β .

2.2. Розрахувати молярну масу горючої речовини μ , $\text{кг}\cdot\text{кмоль}^{-1}$.

2.3. Розрахувати молярний об'єм газу за даних умов V_μ , $\text{м}^3\cdot\text{кмоль}^{-1}$.

2.4. Розрахувати об'ємну та масову стехіометричну, нижню і верхню концентраційну межу поширення полум'я за формулами:

$$\begin{aligned}\varphi_{\text{СТМ}}^0 &= \frac{100}{1 + 4,76 \cdot \beta}, \quad \%, & \varphi_{\text{Н(В)}}^0 &= \frac{100}{a \cdot \beta + b}, \quad \%, \\ \varphi'_{\text{СТМ}} &= \varphi_{\text{СТМ}}^0 \cdot \frac{10 \cdot \mu}{V_\mu}; \quad \text{г}\cdot\text{м}^{-3} & \varphi'_{\text{Н(В)}} &= \varphi_{\text{Н(В)}}^0 \cdot \frac{10 \cdot \mu}{V_\mu}, \quad \text{г}\cdot\text{м}^{-3}.\end{aligned}$$

3. Визначити об'єм реакційної посудини м^3 , для цього заміряти геометричні розміри скляної труби (внутрішній діаметр і довжину):

$$V_{\text{труби}} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l, \quad \text{м}^3$$

де d – діаметр труби, м;

l – довжина труби, м.

4. Розрахувати об'єм рідини мл, що вводиться в реакційну посудину (трубу), для цього визначити густину горючої речовини $\rho_{\text{рід}}$ $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ із довідника [9]:

$$V_{\text{рід(СТМ)}} = 1000 \cdot \frac{V_{\text{труби}} \cdot \varphi'_{\text{СТМ}}}{\rho_{\text{рід}}}, \quad \text{мл},$$

$$V_{\text{рід}(\varphi_{\text{Н(В)}})} = 1000 \cdot \frac{V_{\text{труби}} \cdot \varphi'_{\text{Н(В)}}}{\rho_{\text{рід}}}, \quad \text{мл}.$$

5. Визначити ряд об'ємів горючої рідини, які будуть вводиться в трубу, і відповідні їм концентрації, орієнтуючись на верхню і нижню концентраційну межу поширення полум'я.

Проведення дослідю

1. Відміряти піпеткою розраховану кількість досліджуваної рідини і внести її в трубу. Трубу підняти для рівномірного розтікання рідини.

2. Після випаровування рідини подати іскровий розряд (іскровий розряд і запуск таймера відбуваються синхронно). Спостерігати за виникненням горіння і просуванням фронту полум'я в трубі.

3. По досягненні фронтом полум'я засувки спрацьовує кінцевий вимикач і таймер вимикається. Згідно показань таймера визначити час руху фронту полум'я τ , розрахувати швидкість поширення фронту полум'я $u_{фп}$.

4. Результат занести в таблицю:

Таблиця результатів дослідю

| № | Об'єм рідини $V_{рід}$, мл | Концентрація речовини φ , % | Час τ , с | Швидкість руху полум'я, $u_{фп}$, м·с ⁻¹ |
|----|--------------------------------|--|----------------|---|
| 1. | | | | |

5. Провентилувати трубу свіжим повітрям. Повторити дослід з іншим об'ємом рідини.

6. За підсумками дослідів побудувати графік залежності швидкості руху фронту полум'я від концентрації горючої речовини. Зробити висновок.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1) Види кінетичного горіння. Визначення дефлаграційного та детонаційного горіння.

- 2) Фронт полум'я, його структура і характерні закономірності зміни температури та концентрації горючої речовини у фронті полум'я.
- 3) Дефлаграційне поширення фронту полум'я .
- 4) Умови протікання ланцюгових хімічних реакцій, розподіл активних центрів у фронті полум'я.
- 5) Перехід кінетичного дефлаграційного горіння в детонацію.
- 6) Тиск при вибуху, фактори, що впливають на максимальний тиск при вибуху.
- 7) Нормальна та лінійна швидкість поширення полум'я в газах.
- 8) Фактори, що впливають на нормальну швидкість поширення полум'я.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ МЕЖ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я РІДИН

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Для горіння рідин характерним є те, що температура їх кипіння завжди нижче за температуру самоспалахування. Внаслідок цього горіння рідин можливе тільки в паровій фазі. Згоряння пари, що утворилася, відбувається практично негайно після її утворення і змішування із навколишнім повітрям, тому швидкість горіння визначається лише швидкістю випаровування рідкої фази як найбільш повільним процесом.

Процес випаровування відбувається завдяки тепловому руху молекул рідини. Молекули, що мають кінетичну енергію більшу, ніж енергія міжмолекулярної взаємодії, долають сили поверхневого натягу рідини, вириваються з поверхневого шару рідини і переходять в газову фазу. При цьому витрачається певна кількість тепла, яка називається **теплотою випаровування** або **пароутворення**. Теплота випаровування залежить тільки від виду речовини. Цей параметр використовується для прогнозування аварійної ситуації (параметрів вибуху) при розливі рідин, а також при визначенні категорії приміщення за вибуховою і пожежною небезпекою. Рідини, що мають низьку теплоту пароутворення, прийнято називати **летючими рідинами**.

Процес випаровування характеризується наступними параметрами.

Швидкість випаровування – кількість рідини, що випарувалася з вільної поверхні в одиницю часу.

Інтенсивність випаровування – кількість рідини, що випарувалася з одиниці поверхні в одиницю часу. Інтенсивність випаровування залежить від:

- виду рідини (теплоти випаровування);
- початкової температури рідини;
- атмосферного тиску;

- швидкості руху повітря.

Чим менше теплота випаровування рідини, тим менше потрібно енергії для того, щоб перевести молекулу речовини із рідкого в газоподібний стан, а отже, тим інтенсивніше відбувається процес випаровування.

Чим вище температура рідини, тим більше швидкість руху молекул і тим більша кількість молекул має енергію, достатню для переходу в газову фазу.

Розрізняють статичне і динамічне випаровування. Статичне випаровування спостерігається, коли нерухома рідина випаровується в нерухоме газове середовище, динамічна - коли рідина випаровується в газове середовище, яке рухається. Швидкість динамічного випаровування більше статичного за однакової температури.

Рідина може випаровуватися у відкритий або закритий простір. При випаровуванні в закритому просторі через деякий час встановлюється **динамічна рівновага** - стан системи, при якому кількість рідини, що випаровується, дорівнює кількості сконденсованої пари. Тобто скільки речовини випарується, стільки ж і перейде зворотно з газової фази в рідку. Відбувається насичення газової фази.

Пара, що утворилася за динамічної рівноваги в системі, називається **насиченою парою**.

Якщо рідина знаходиться в незакритому об'ємі, то частина пари весь час дифундує в навколишній простір. При цьому кількість речовини, що випарувалася, буде більшою, ніж сконденсованої, динамічна рівновага не встановиться, пара буде **ненасиченою**, а випаровування буде тривати, поки вся рідина не випарується.

Молекули пари, як насиченої, так і ненасиченої, маючи кінетичну енергію, чинять тиск на стінки посудини, в якій знаходиться пара. Чим більше молекул знаходиться в пароподібному стані, тим більший тиск вони створюють. Кількість речовини, що випарувалася, а, отже, і тиск пари буде залежати від інтенсивності випаровування. Оскільки при збільшенні температури збільшується кількість речовини, що переходить в газоподібний стан, то

концентрація пари зростає, при цьому тиск також збільшується.

За заданої температури тиск насиченої пари рідини завжди вище, ніж ненасиченої, оскільки при випаровуванні у відкритий простір частина пари весь час буде дифундувати в довкілля.

Тиск насиченої пари ($P_{\text{нп}}$) ще називається **парціальним тиском або пружністю насиченої пари**.

Залежність між тиском і концентрацією насиченої пари можна знайти із співвідношення:

$$P_{\text{нп}} = \frac{\varphi_{\text{нп}}^0 P_{\text{заг}}}{100}, \text{ кПа}, \quad (7.1)$$

де $\varphi_{\text{нп}}^0$ – концентрація пари, %

$P_{\text{заг}}$ – загальний тиск, кПа.

Тиск насиченої пари залежить від температури і властивостей рідини і не залежить від кількості рідини або площі її випаровування.

Розрахувати тиск насиченої пари за даної температури можна з рівняння Антуана:

$$\lg P_{\text{нп}} = A + \frac{B}{t + C_a} \quad (7.2)$$

де $P_{\text{нп}}$ – тиск насиченої пари, кПа;

A, B, C_a – константи Антуана (беруть з довідника для даної речовини);

t – температура рідини, $^{\circ}\text{C}$.

Числові значення тиску насиченої пари використовуються:

- при розрахунку кількості рідини, яка випарувалася і утворила вибухонебезпечну пароповітряну хмару;
- при визначенні ступеню пожежної небезпеки насиченої пари горючих рідин;

- у розрахунку критичних температур рідини, в закритому технологічному обладнанні.

Концентрація насиченої пари пов'язана з температурою рідини. Так, з рівняння Антуана можна визначити концентрацією насиченої пари, яка утворилася над поверхнею рідини за цієї температури:

$$t = \frac{B}{A - \lg P_{\text{нп}}} - C_a = \frac{B}{A - \lg(0,01P_{\text{заг}} \Phi_{\text{нп}})} - C_a, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (7.3)$$

За певних температур концентрація насиченої пари рідини дорівнює нижній або верхній концентраційній межі поширення полум'я. Таким чином, пожежну небезпеку горючої рідини можна оцінювати не за концентрацією її пари, а за температурою самої рідини. Тому замість концентраційних меж можна указати температуру рідини, за якої ця концентрація утворюється.

Такі температури називаються **температурними межами поширення полум'я** (ТМПП). Як і для концентраційних меж, можна визначити нижню і верхню температурну межу поширення полум'я рідини.

Температурні межі поширення полум'я (нижня або верхня) – такі температури рідини, за яких над її поверхнею утворюється насичена пара в концентрації, рівній, відповідно, нижній або верхній концентраційній межі поширення полум'я.

За температур нижче нижньої температурної межі концентрація насиченої пари буде нижче нижньої концентраційної межі і, отже, буде безпечною.

За температури вище верхньої температурної межі рідина утворює насичену пару, яка в суміші з повітрям в закритому об'ємі загорітися не може, тобто кінетичного вибухового горіння не буде. Однак, якщо підпалити таку суміш насичених парів при виході з ємності у повітря, то вона може горіти в дифузійному режимі. Таким чином, насичена пара на верхній температурній межі поширення полум'я є вибухобезпечною, але пожежонебезпечною.

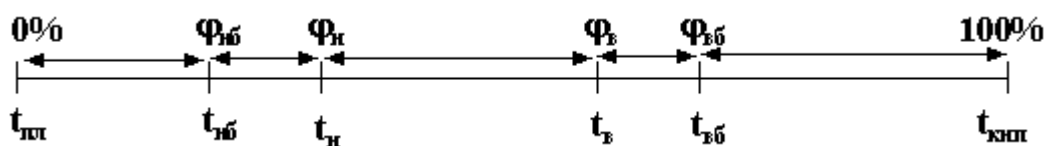
Температурні межі, так само як і концентраційні, не є постійними

величинами і залежать від ряду чинників, основними з яких є:

- 1) потужність джерела запалювання;
- 2) концентрація окислювача в окислювальній середовищі;
- 3) загальний тиск;
- 4) домішки негорючих парів і газів;
- 5) домішки негорючих рідин.

При збільшенні потужності джерела запалювання та концентрації кисню в окислювальній середовищі температурні межі розширюються (нижня межа зменшується, а верхня межа збільшується). При збільшенні вмісту негорючих газів в паро-газовій середовищі (наприклад, введення в повітря домішок азоту або вуглекислого газу) або домішок негорючих рідин звужують температурні межі поширення полум'я (нижня межа збільшується, а верхня межа зменшується). При збільшенні загального тиску інтенсивність випаровування зменшується, а отже, зменшується концентрація пари. Тому для досягнення концентраційних меж потрібно збільшити інтенсивність випаровування за рахунок збільшення температури. Таким чином, при підвищенні загального тиску і нижня, і верхня температурні межі поширення полум'я збільшуються.

Отже, так само, як і для газів, для горючих рідин існують характерні області концентрацій і температур та безпечні параметри експлуатації – безпечні температурні межі.



Для забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів, в яких обертаються горючі рідини, потрібно знати такі параметри, як ТМПП. Їх визначити можна як практично, провівши експериментальні дослідження, так і розрахунковим шляхом.

Методика експериментального визначення ТМПП розроблена і викладена в ГОСТі 12.1.044-89 ССБП “Пожежовибухонебезпека речовин і матеріалів”.

Для розрахункового визначення ТМПП можна використовувати декілька методів.

1) Температурні межі поширення полум’я нижню t_n та верхню t_v можна визначити за рівнянням Антуана, якщо у формулу підставити відповідне значення концентраційної межі:

$$t_{n(v)} = \frac{B}{A - \lg(0,01P_{\text{заг}} \Phi_{n(v)})} - C_a, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (7.4)$$

2) Якщо для даної рідини немає констант Антуана, але відома залежність тиску насиченої пари від температури, ТМПП можна визначити методом лінійної інтерполяції:

$$t_{n(v)} = t_1 + \frac{(t_2 - t_1)(P_{\text{нп}_{n(v)}} - P_1)}{P_2 - P_1}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7.5)$$

де t_1, t_2 – температури рідини, $^\circ\text{C}$,

$P_{\text{нп}_{n(v)}}$ – тиск насиченої пари, кПа, що відповідає нижній або верхній концентраційній межі поширення полум’я відповідно;

P_1, P_2 – тиск насиченої пари, кПа, що відповідає температурі рідини t_1, t_2 відповідно.

Тиск насиченої пари, що відповідає нижній або верхній концентраційній межі поширення полум’я, розраховують, виходячи із значення КМПП, за формулою:

$$P_{\text{нп}_{n(v)}} = \frac{\Phi_{n(v)} \cdot P_{\text{заг}}}{100}, \text{ кПа}. \quad (7.6)$$

Значення P_1 і P_2 вибирають, виходячи з умови: $P_1 < P_{\text{нп}} < P_2$.

3) Простіше можна визначити ТМПП з використанням номограми, розрахувавши значення тиску насиченої пари, що відповідає КМПП.

4) У тих випадках, коли залежність тиску насиченої пари від температури невідома, для речовин, що складаються з **C, H, O, N**, значення нижньої або верхньої температурної межі розраховується за формулою:

$$t_{\text{н(в)}} = a_0 + a_1 t_{\text{кип}} + \sum a_j \cdot l_j, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (7.7)$$

де a_0, a_1, a_j – коефіцієнти, значення яких наведено в додатку 8.

l_j - число зв'язків j -го типу в молекулі речовини;

$t_{\text{кип}}$ – температура кипіння рідини, $^\circ\text{C}$.

5) ТМПП можна розрахувати за константами гомологічних рядів:

$$t_{\text{н(в)}} = k \cdot t_{\text{кип}} - l, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7.8)$$

де $t_{\text{кип}}$ – температура кипіння рідини, $^\circ\text{C}$.

k, l - емпіричні коефіцієнти для класів горючих рідин (додаток 9) [10].

Значення нижньої і верхньої безпечної температурної межі поширення полум'я можна визначити за формулами:

$$t_{\text{н,без}} = 0,9(t_{\text{н}} - K_{\text{без}}) \quad (7.9)$$

$$t_{\text{в,без}} = 1,1(t_{\text{в}} - K_{\text{без}}) \quad (7.10)$$

де $K_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки, який становить:

- для індивідуальних речовин і нафтопродуктів $10,5^\circ\text{C}$,

- для технічних і реакційних сумішей 14°C .

Фактично ТМПП дублюють КМПП і для рідин є їх похідними.

Використання ТМПП як показника пожежної небезпеки рідин значно спрощує роботу з визначення ступеня пожежної небезпеки горючих рідин, оскільки, на відміну від концентраційних меж, не вимагає застосування складних приладів.

За допомогою ТМПП можна :

1) провести порівняльну оцінку міри пожежної небезпеки для двох рідин;
2) визначити область вибухобезпечних температур при роботі технологічного обладнання. Для забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів потрібно вибрати температурний режим роботи апаратів з таким розрахунком, щоб робочі концентрації знаходилися поза зоною небезпечних концентрацій. Таким чином робочі температури повинні бути нижче нижньої безпечної або вище верхньої безпечної температурної межі поширення полум'я:

$$t_{\text{роб}} < t_{\text{нб}} , \quad t_{\text{роб}} > t_{\text{вб}} .$$

3) визначити ступінь пожежної небезпеки парів в ємностях і закритих технологічних апаратах за будь-якої температури, виходячи з умови, що безпечною є концентрація пари, яка утворюється за температури рідини менше НТМПП, вибухонебезпечною - якщо температура знаходиться між нижнім і верхнім ТМПП, і вибухобезпечною, але пожежонебезпечною, - якщо вона вище за ВТМПП.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Визначити температурні межі поширення полум'я, встановити ступінь небезпеки насиченої пари досліджуваної рідини за заданої температури.

Опис лабораторної установки

Для визначення температурних меж поширення полум'я використовується прилад ТП-2.

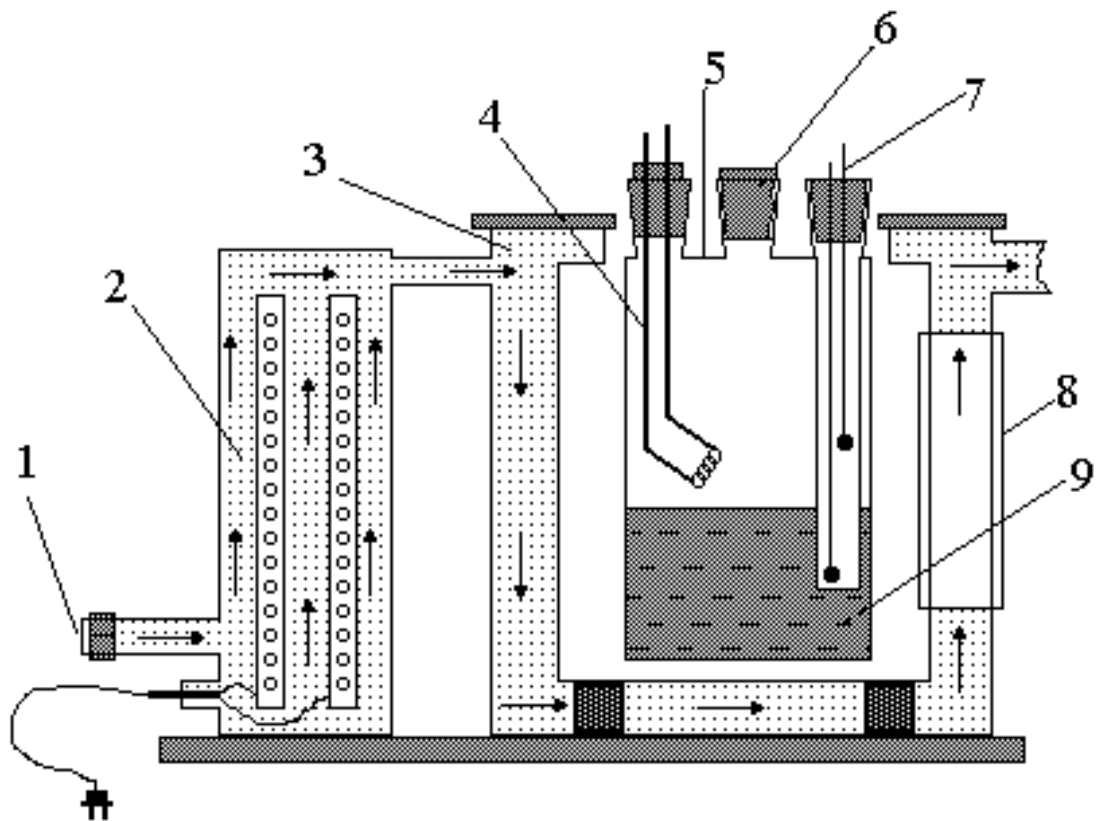


Рис 7.1 – Схема приладу ТП-2 для визначення температурних меж поширення полум'я

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1) патрубков подачі повітря; | 6) запобіжна пробка; |
| 2) трубчаста піч; | 7) термопара; |
| 3) повітряний термостат; | 8) оглядове віконце; |
| 4) джерело запалення; | 9) досліджувана рідина |
| 5) реакційна посудина; | |

Прилад являє собою реакційну посудину з трьома горловинами діаметром 65 мм і висотою 125 мм. В одну горловину вставлена пробка із дводіапазонною термопарою типу ТХК в скляному чохлі, відстань між зонами вимірювання температур – 60 мм. В другій горловині знаходиться джерело запалювання – пробка із спіраллю із ніхромової проволочки діаметром 0,3 мм. Джерело живлення повинно забезпечувати розігрів спіралі протягом 4-5 с до температури 1000 - 1050⁰С. Третя горловина прикрита корковою пробкою, яка виконує роль запобіжного клапана в разі запалення пароповітряної суміші. (Увага! Пробка не повинна бути міцно посаджена у

горловину, щоб не сталось розриву реакційної посудини при запаленні пароповітряної суміші, а повинна тільки прикривати її). При визначенні температурних меж реакційна посудина повинна бути розташована в термостаті або охолоджувальній ванні, які повинні забезпечувати підтримання постійної температури протягом 15 хв. з точністю $\pm 1^{\circ}\text{C}$ і мати оглядове віконце для спостереження за реакційною посудиною.

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

1. Приєднати запалювальну спіраль до джерела живлення і термопару до потенціометр. Перевірити роботу схеми запалювання і вимірювання температури.

2. Вставити джерело запалювання і термопару в реакційну посудину, третю горловину прикрити корковою пробкою.

3. В залежності від розрахованих температурних меж поширення полум'я, підготувати до роботи термостат або охолоджувальну ванну.

4. Залити в реакційну посудину 70 мл досліджуваної рідини і помістити її в термостат або охолоджувальну ванну.

Проведення досліду

Визначення НТМПП

1. За допомогою термостату встановлюють температуру досліджуваної рідини на 10°C менше розрахованого значення НТМПП.
2. Після встановлення заданої температури, очікують 15 хв для встановлення динамічної рівноваги між рідкою і газовою фазами. Різниця температур між рідкою і газовою фазами не повинна перевищувати 1°C .
3. Проводять випробування на займання. Для цього подають живлення на джерело запалювання протягом 4-5 с. Включення спіралі на довший час може привести до її перегорання або до викривлення результатів досліду через

додаткове випаровування речовини. За “займання” вважають поширення полум’я по всьому об’єму пароповітряної суміші. Горіння і спалах на спіралі або викидання пробки без видимого полум’я – вважати “відмовою”. Результати випробування заносять в лабораторний журнал.

Таблиця результатів дослідів

| №. | Температура, °С | Результат (спалах / відмова) |
|-----------|------------------------|---|
| 1. | | |

4. Незалежно від результату випробування, реакційну посудину продувають повітрям за допомогою гумового шлангу від компресора.
5. В разі “відмови” температуру рідини встановлюють на 5°С вище і повторюють операції, вказані в пп. 2 - 4.
6. Змінюючи температуру, знаходять два таких значення із різницею не більше 2°С, при одному з яких відбувається “відмова”, а при іншому “займання”.

Визначення ВТМПП

7. Встановлюють температуру досліджуваної рідини на 10°С вище розрахованого значення ВТМПП. Реакційну посудину продувають повітрям. Подальші випробування проводять, як вказано в пп. 2 - 4.
8. В разі одержання “відмови” температуру рідини встановлюють на 5°С нижче, а при “займанні” - на 5°С вище. Подальші випробування проводять, як вказано в пп. 2-4.

За температурні межі поширення полум’я беруть середнє арифметичне результатів не менше 3-х пар випробувань на “займання” і “відмову”.

Після проведення дослідів електричне живлення вимикають, температуру реакційної посудини доводять до кімнатної температури і досліджувану рідину зливають у ємність для зберігання.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1) Випаровування рідин. Параметри випаровування.
- 2) Фактори, що впливають на інтенсивність процесу випаровування рідин.
- 3) Особливості випаровування рідин в закритому просторі. Насичена пара, її характеристика.
- 4) Температурні межі поширення полум'я. Вплив різних факторів на ТМПП.
- 5) Характеристика ступеня пожежної небезпеки на основі ТМПП.
- 6) Практичне значення ТМПП. Робочі температури технологічного процесу.
- 7) Експериментальні способи визначення ТМПП.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СПАЛАХУ РІДИН

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Процес запалення горючих рідин при випаровуванні у відкритий простір має відмінності від запалення пари в закритих об'ємах. Виникнення горіння пари рідини від джерела запалювання може статися тільки тоді, коли концентрація пари досягне значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я.

У закритому об'ємі при тривалому випаровуванні встановлюється динамічна рівновага, утворюється насичена пара, пожежна небезпека рідини характеризується ТМПП. При випаровуванні рідин у відкритий простір молекули пари постійно дифундують в навколишній простір, динамічна рівновага не встановлюється, а пара, що утворюється, є ненасиченою. При цьому концентрація пари поступово змінюється за висотою. Безпосередньо над поверхнею рідини вона дорівнює концентрації насиченої пари, а на деякій великій відстані – знижується до нуля. Розподіл концентрації пари за висотою над дзеркалом горючої рідини може бути зображено наступним графіком:

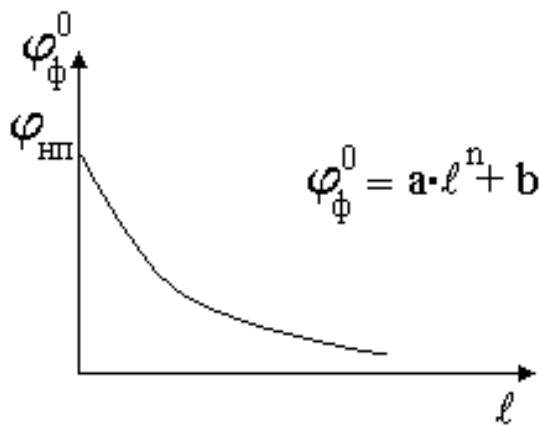


Рис. 8.1 — Графік зміни концентрації пари над поверхнею рідини

Φ_{ϕ} - концентрація пари в заданій точці; ℓ - відстань від поверхні рідини

Для оцінки ступеня пожежної небезпеки фактичної концентрації, що утворилася у виробничому приміщенні при випаровуванні горючої рідини, слід порівняти фактичну концентрацію пари з концентраційними межами поширення полум'я даної речовини. Для визначення фактичної масової концентрації пари Φ'_{ϕ} треба розділити масу рідини, що випарувалася, на об'єм приміщення:

$$\Phi'_{\phi} = \frac{m_{\text{вип}}}{V_{\text{прим}}}, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (8.1)$$

де $m_{\text{вип}}$ – маса рідини, що випарувалася, г;

$V_{\text{прим}}$ – об'єм приміщення, в якому відбувається процес випаровування м^3 .

Масу пари при випаровуванні горючої рідини у відкритий простір можна визначити як:

$$m_{\text{парі}} = I_{\text{вип}} \cdot S_{\text{вип}} \cdot \tau_{\text{вип}}, \quad (8.2)$$

де $I_{\text{вип}}$ – інтенсивність випаровування рідини, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;

$S_{\text{вип}}$ – площа випаровування, м^2 ;

$\tau_{\text{вип}}$ – час випаровування, с.

Для того, щоб розрахувати площу розливу, з якої відбувається процес випаровування, можна застосувати співвідношення:

$$S_{\text{вип}} = \frac{m_{\text{рід}}}{\rho_{\text{рід}} h_{\text{рід}}} \text{ м}^2, \quad (8.3)$$

де $m_{\text{рід}}$ – маса рідини, що розлилася при аварійному витоку, кг;

$\rho_{\text{рід}}$ – густина рідини за заданих умов, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$;

$h_{\text{рід}}$ – висота шару рідини, що розлилася при аварійному витоку, м.

Інтенсивність випаровування визначається за формулою:

$$I_{\text{вип}} = 10^{-6} \cdot \eta \cdot P_{\text{нп}} \cdot \sqrt{\mu}, \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}, \quad (8.4)$$

де η – коефіцієнт, що враховує температуру і швидкість руху повітря.

μ – молярна маса речовини;

$P_{\text{нп}}$ – тиск насиченої пари за даної температури, кПа.

Коефіцієнт η визначається за таблицями, в залежності від температури і швидкості руху повітря, тому використання даної формули ускладнено.

У практичних розрахунках для визначення маси рідини, що випарувалася, використовують емпіричну формулу:

$$I_{\text{вип}} = P_{\text{нп}} \mu (0,734 + 1,637 v_{\text{пов}}) \cdot 10^{-6}, \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}, \quad (8.5)$$

де $v_{\text{пов}}$ – швидкість руху повітря над поверхнею випаровування, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Таким чином ступінь пожежної небезпеки рідини, що випаровується у відкритий простір, залежить насамперед від інтенсивності випаровування, яку визначає природа речовини і температура.

Для рідин, що знаходяться в закритому просторі, небезпечні концентрації будуть утворюватись по досягненні температури, яка відповідає нижній температурній межі поширення полум'я. Якщо рідина знаходиться у відкритій посудині частина пари весь час буде дифундувати у відкритий простір, і за однієї температури концентрація ненасиченої пари буде завжди меншою, ніж насиченої. Тому для досягнення нижньої концентраційної межі поширення полум'я для ненасиченої пари, температура рідини повинна бути більшою для збільшення інтенсивності випаровування і компенсації втрати пари за рахунок дифузії.

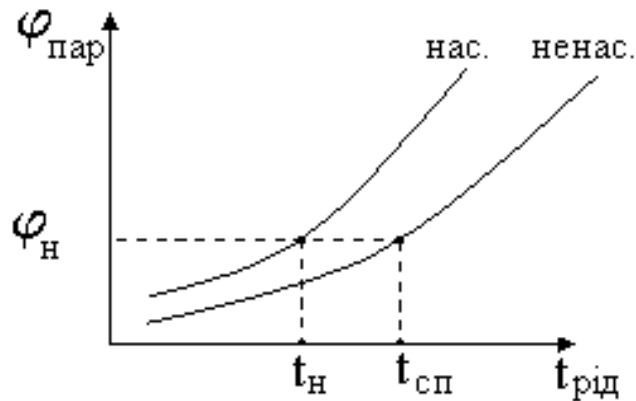


Рис. 8.2 — Залежність концентрації насиченої і ненасиченої пари від температури рідини

Якщо до поверхні рідини, що випаровується у відкритий простір і має над своєю поверхнею концентрацію пари, яка дорівнює нижній концентраційній межі, піднести джерело запалювання, то пара спалахне.

Спалах – швидке згоряння газопароповітряної суміші над поверхнею горючої речовини, що супроводжується короткочасним видимим свіченням. Однак стійке горіння не настає, тому що швидкість випаровування рідини за даної температури буде нижче за швидкість вигорання пари.

Температура спалаху – це найменша температура конденсованої речовини (рідини), за якої в умовах спеціальних випробувань над її поверхнею утвориться пара, здатна спалахувати в повітрі від короткочасного впливу джерела запалювання, однак стійке горіння при цьому не виникає.

За температури спалаху швидкість випаровування недостатня для підтримки стійкого горіння: вигорання суміші пари з повітрям відбувається швидше, ніж утворення такої суміші ($V_{\text{вип.}} < V_{\text{вигорання}}$).

За нижньої температурної межі поширення полум'я і за температури спалаху концентрація пари над поверхнею рідини дорівнює нижній концентраційній межі поширення полум'я, тільки в одному випадку утворюється насичена пара, а в іншому - ненасичена. Рідина, температура якої нижче за температуру спалаху, є пожежобезпечною у разі

короткочасного впливу джерела запалювання.

Температуру спалаху взято за основу класифікації рідин за ступенем їх пожежної небезпеки. Розрізняють горючі (ГР) і легкозайmistі рідини (ЛЗР). До горючих відносять рідини з температурою спалаху, визначеною в закритому тиглі, більше за 61°C. Горючі рідини можуть спалахнути від джерела запалювання тільки за підвищеної температури. Рідини з температурою спалаху в закритому тиглі 61°C і нижче відносять до класу легкозайmistих рідин. Легкозайmistі рідини з температурою спалаху 28°C і нижче відносять до *особливо небезпечних рідин*.

Крім температури спалаху, розрізняють ще *температуру займання* – найменшу температуру рідини, за якої після запалення пари від джерела запалювання встановлюється стаціонарне горіння.

Чим нижче температура спалаху рідини, тим менше різниця між температурами займання і спалаху. Так, для ЛЗР температура займання більше температури спалаху на 1÷5°C, а для ГР різниця доходить до 25÷35°C.

Температуру спалаху можна визначити як експериментально (в закритому і відкритому тиглі), так і розрахунковим методом.

Методика практичного визначення $t_{\text{сп}}$ розроблена і викладена в ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов».

Суттєва залежність величини $t_{\text{сп}}$ від умов експерименту викликає певні труднощі при створенні розрахункового методу оцінки цієї величини. Тому різні методи розрахунку дають різні величини $t_{\text{сп}}$.

Для розрахунку $t_{\text{сп}}$ індивідуальних рідин можна використати наступні методики:

1) за формулою Еллея, яка дає приблизний результат, що використовується для оцінювальних розрахунків:

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{кип}} - 18\sqrt{K_{\Gamma}}, ^\circ\text{C} \quad (8.6)$$

де $t_{\text{кип}}$ – температура кипіння рідини, °С.

K_r - коефіцієнт горючості Еллея, який визначається за формулою:

$$K_r = 4C + H + 4S + N - 2O - 2Cl - 3F - 5Br ,$$

де **C, H, S, N, O, Cl, F, Br** – число атомів даного виду в молекулі горючої речовини.

2) У межах гомологічного ряду значення температури спалаху рідин зростає із збільшенням молекулярної маси. Дана закономірність зберігається і для сумішей нафтопродуктів. Тому температуру спалаху можна розрахувати за формулою, в якій використано емпіричні коефіцієнти залежності температури спалаху від температури кипіння речовини (додаток 10):

$$t_{\text{сп}} = a + b t_{\text{кип}} , ^\circ\text{C}, \quad (8.7)$$

де **a** і **b** - емпіричні константи гомологічного ряду;

$t_{\text{кип}}$ – температура кипіння рідини, °С.

3) $t_{\text{сп}}$ можна розрахувати, виходячи із структури речовини, аналогічно розрахунку ТМПП за формулою:

$$t_{\text{сп}} = a_0 + a_1 \cdot t_{\text{кип}} + \sum a_j \cdot I_j , ^\circ\text{C}, \quad (8.8)$$

де **a₀** – коефіцієнт, що дорівнює **-73,14°С**;

a₁ – коефіцієнт, що дорівнює **0,659**;

a_j - емпіричні коефіцієнти, що характеризують внесок структурних груп (додаток 11);

$t_{\text{кип}}$ – температура кипіння рідини, °С.

I_j – число зв'язків **j**-го виду.

На практиці дуже часто доводиться мати справу з різними сумішами

рідин. Суміші такого типу можуть бути утворені або з горючих рідин, або з горючих і негорючих рідин. При змішуванні горючих рідин з негорючими температура спалаху суміші буде завжди вище за $t_{\text{сп}}$ горючої рідини в чистому стані. Для суміші двох горючих взаєморозчинних рідин $t_{\text{сп}}$ буде залежати від типу суміші. Якщо горючі рідини не утворюють азеотропної суміші, то температура спалаху такого розчину знаходиться між значеннями $t_{\text{сп}}$ чистих рідин, однак не підкоряється законам змішування, тобто змінюється не пропорційно вмісту компонентів. Навіть малі добавки ЛЗР до ГР можуть сильно збільшити пожежну небезпеку суміші.

Азеотропні суміші можуть мати температуру спалаху нижче або вище температури спалаху чистих компонентів.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СПАЛАХУ В ЗАКРИТОМУ ТИГЛІ

Мета роботи: Встановити температуру спалаху в закритому тиглі і ступінь пожежної небезпеки досліджуваної рідини.

Опис лабораторної установки

Прилад закритого типу ПВНЭ служить для визначення температури спалаху рідин від 30 до 275°C. Досліджувану рідину поміщають в плоскодонний латунний стакан (тигель); в середині латунного стакана є риска, до якої слід наливати рідину. З боків стакана є ручки для перенесення за допомогою рогача. Зверху на латунний стакан надіта кришка. На кришці розташована засувка із поворотним пристроєм, запалювальний гніт, мішалка і патрубок для встановлення термометра. В разі повертання ручки

поворотного пристрою засувка відкриває отвір, в який автоматично вводиться запалений гніт. Горіння гніта забезпечує запас масла. Для встановлення потрібної температури латунний стакан поміщають в нагрівальну піч, температуру якої регулюють за допомогою автотрансформатора.

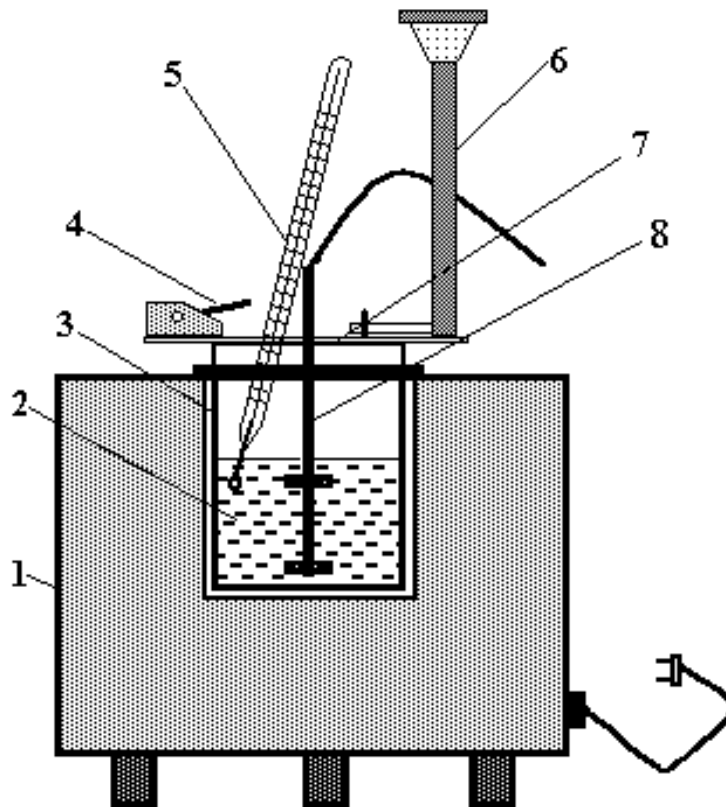


Рис. 8.3 — Схема пристрою ПВНЭ для визначення температури спалаху в закритому тиглі

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1) нагрівальна піч; | 5) термометр; |
| 2) досліджувана рідина; | 6) поворотний пристрій; |
| 3) латунний стакан; | 7) кришка із засувкою; |
| 4) запалювальний гніт; | 8) мішалка |

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення дослідів

1. Провести попередній розрахунок температури спалаху за формулою

Еллея (8.6), за константами гомологічного ряду (8.7) і за структурою речовини (8.8).

2. Згідно проведених розрахунків визначити ступінь небезпеки досліджуваної рідини.

3. Заповнити латунний стакан досліджуваною рідиною до мітки і вставити його в нагрівальну піч.

4. Закрити стакан кришкою. Вставити в тубус кришки термометр. Заправити гніт маслом і запалити його.

Проведення дослідю

1. Увімкнути нагрівальну піч і нагрівати досліджувану рідину з постійним перемішуванням. Швидкість роботи мішалки 90-120 об. \cdot хв⁻¹. При випробуванні рідин з температурою спалаху до 50°C нагрівання ведуть із швидкістю 1-1,5°C \cdot хв⁻¹, речовини із температурою спалаху більше 50 С нагрівають із швидкістю 5-6 °C \cdot хв⁻¹. Випробування починають за температури на 10-17°C нижче, ніж розрахована. Речовини із температурою спалаху до 104°C випробовують з інтервалом 1°C, а всі інші - з інтервалом 2°C.
2. Привести у дію поворотний пристрій на кришці латунного стакану., при цьому відкривається засувка і гніт опускається в середину стакана. Гніт опускають в стакан протягом 0,5 с, залишають в нижньому положенні 1 с і вертають у верхнє положення.
3. Якщо спалаху не сталось, вмикають мішалку і повторюють випробування на спалах після нагрівання речовини на 1 або 2 °C, відповідно, до тих пір, поки не станеться спалах.
4. Результати випробувань заносять у таблицю, фіксуючи температуру і результат випробування: “відмова” або “спалах”.

Таблиця результатів дослідю

| № | Температура, °C | Результат |
|---|-----------------|-----------|
|---|-----------------|-----------|

| | | |
|----|--|------------------|
| | | (спалах/відмова) |
| 1. | | |

За температуру спалаху приймають температуру, яку показує термометр в разі появи полум'я над поверхнею досліджуваної речовини.

Після проведення досліджень нагрівальну піч вимикають, латунний стакан із кришкою за допомогою рогача витягують із печі і після охолодження рідину зливають в ємність.

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СПАЛАХУ У ВІДКРИТОМУ ТИГЛІ

Мета роботи: Встановити температуру спалаху у відкритому тиглі і ступінь пожежної небезпеки досліджуваної рідини.

Опис лабораторної установки

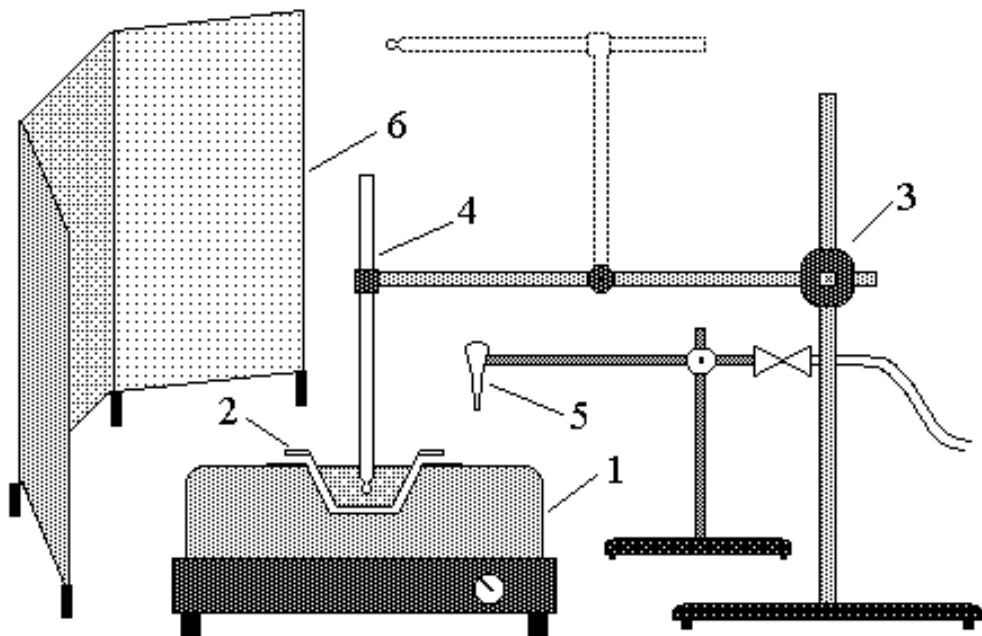


Рис. 8.4 – Схема приладу для визначення температури спалаху у відкритому тиглі

- | | |
|------------------------------------|---------------------|
| 1) нагрівальна піч; | 4) термометр; |
| 2) тигель із досліджуваною рідиною | 5) газовий пальник; |
| 3) штатив; | 6) екран |

Установка для визначення температури спалаху у відкритому тиглі складається із нагрівальної печі, в яку поміщено тигель із внутрішнім покажчиком рівня заповнення досліджуваною речовиною. Швидкість нагріву печі повинна регулюватись в діапазоні $5\text{--}17^{\circ}\text{C}\cdot\text{хв}^{-1}$. Термометр на штативі із поворотним пристроєм, що дає змогу вводити і виводити термометр із тигля. Газовий пальник, що дає полум'я у формі кулі із діаметром $(4 \pm 0,5)$ мм. Тристулковий екран для захисту тигля від потоків повітря.

Підготовка до проведення досліду

Провести попередній розрахунок температури спалаху за формулою Еллея. Згідно проведених розрахунків визначити ступінь небезпеки досліджуваної рідини.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Нагрівальну піч встановлюють у затемненому місці, де відсутні помітні рухи повітря.

2. Досліджувану речовину наливають в тигель до мітки. Встановлюють на піч і вмикають нагрів.

Під час випробування речовин із передбачуваною температурою спалаху вище за 79°C швидкість нагріву повинна становити $14\text{--}17^{\circ}\text{C}\cdot\text{хв}^{-1}$. За 56°C до передбаченої температури спалаху швидкість нагріву зменшують так, щоб за останні 28°C до температури спалаху швидкість нагріву становила $5\text{--}6^{\circ}\text{C}\cdot\text{хв}^{-1}$. Для рідин із передбачуваною температурою спалаху нижче за 79°C швидкість нагріву повинна становити $5\text{--}6^{\circ}\text{C}\cdot\text{хв}^{-1}$.

3. В центр тигля опускають термометр на відстані 6 мм від дна.

4. Запалюють газовий пальник і встановлюють потрібний діаметр полум'я.

5. Випробування на спалах починають по досягненні температури зразка на 28°C нижче передбаченої температури і повторюють через кожні 2°C.

6. Для випробування полум'я газового пальника рівномірно проводять над поверхнею тигля в один бік від краю до краю, на відстані, не більшій 2 мм від краю тигля, витрачаючи на переміщення не більше 1 с. Під час наступного випробування газовий пальник переміщують в інший бік.

7. Результати випробувань заносять у таблицю, фіксуючи температуру і результат випробування: “відмова” або “спалах”.

Таблиця результатів дослідів

| №. | Температура, °C | Результат (спалах / відмова) |
|----|-----------------|---------------------------------|
| 1. | | |

8. За температуру спалаху приймають температуру, яку показує термометр в момент появи полум'я над частиною чи всією поверхнею досліджуваної речовини.

9. Після проведення дослідів нагрівальну піч вимикають і після охолодження рідину зливають в ємність для зберігання.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

- 1) Фізико-хімічні процеси, що протікають при запаленні рідин.
- 2) Температура спалаху і температура запалення рідин, фактори, що впливають на ці температури.
- 3) Класифікація рідин за ступенем пожежної безпеки.
- 4) Механізм вигорання рідин. Масова швидкість вигорання рідин. Механізм утворення гомотермічного шару, скипання, викид рідин з резервуара.

- 5) Параметри, що характеризують ступінь пожежної небезпеки рідин у відкритому та закритому просторі.
- 6) . Дифузійне горіння рідин.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

ГОРІННЯ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

До твердих горючих матеріалів (ТГМ) відносять ті, які мають температуру плавлення або розкладання більше 50⁰ С.

Всі тверді речовини за поведінкою при нагріванні можна розділити на два класи: такі, що **газифікуються** при нагріванні, і **безгазові**. Конденсовані речовини другого класу при горінні не утворюють газоподібних продуктів. Сюди можна віднести кокс, різні термітні суміші, продуктами згоряння яких є нелеткі конденсовані речовини - оксиди металів.

Переважає більшість конденсованих речовин відноситься до першого класу. При нагріванні вони газифікуються, після чого відбувається гомогенне горіння продуктів газифікації. У свою чергу ТГМ, що газифікуються, поділяють на дві великі групи відповідно до того, яким чином вони переходять в паро-газовий стан. Тверді горючі речовини, які переходять в газоподібний стан через рідку фазу (в умовах підвищеної температури плавляться), прийнято називати твердими горючими речовинами першого роду.

Процес запалення ТГМ 1-го роду повторює процес підготовки і запалення горючих рідин. Горіння протікає тільки в гомогенному режимі.

Тверді горючі матеріали, які переходять в газоподібний стан за рахунок сублимації або термічної деструкції молекулярного складу і при цьому не переходять в рідкий стан, прийнято називати твердими горючими речовинами другого роду. При горінні речовин цієї групи можливе горіння як в гомогенному режимі газоподібних продуктів розкладання або сублимації, так і окислення на поверхні твердого залишку - гетерогенний режим горіння.

Процеси виникнення і розвитку горіння більшості твердих горючих матеріалів схожі з процесами горіння газів і рідин. Однак, крім спільних рис,

існує ряд особливостей, зумовлених агрегатним станом і відмінностями в будові.

При контакті ТГМ з джерелом запалювання відбуваються наступні процеси:

1. Попередній нагрів поверхневого шару до температури, за якої починаються фізико-хімічні перетворення (плавлення або термічне розкладання). Якщо це матеріал рослинного походження, то з нього спочатку починає випаровуватися волога. Загальна тривалість цього етапу досягає 80% від загального часу займання.

Процес утворення летючих компонентів йде з витратами енергії і зміною хімічної структури матеріалу. Для матеріалів різного складу (з різною хімічною структурою) починається при різних температурах і протікає з різною інтенсивністю. Здатність матеріалу чинити опір нагріву без зміни хімічної структури називається *термічною стійкістю матеріалу*.

2. Подальший нагрів обумовлює протікання фізико-хімічних перетворень. Якщо це ТГМ 1-го роду, то відбувається плавлення і перехід матеріалу в рідку фазу, потім нагрів розплаву до температури кипіння або розкладання. Якщо це матеріал 2-го роду – протікає процес сублімації або розкладання (піроліз) із виділенням летючих продуктів .

3. Утворення горючої газоповітряної суміші, в якій концентрація горючої речовини досягає НКМПП.

4. Попередній нагрів газової суміші.

5. Запалення газоповітряної суміші із подальшим горінням.

Таким чином, якщо при горінні рідини тепловий потік, що надходить до поверхні, витрачається тільки на нагрівання і випаровування рідкої фази, то для твердих речовин, крім цього, необхідні витрати на плавлення і розкладання.

На кожній стадії протікають специфічні фізико-хімічні процеси, які визначають стан системи. Ці процеси можуть протікати одночасно, але в різних зонах матеріалу. Тому вище означеним стадіям відповідають наступні

зони:

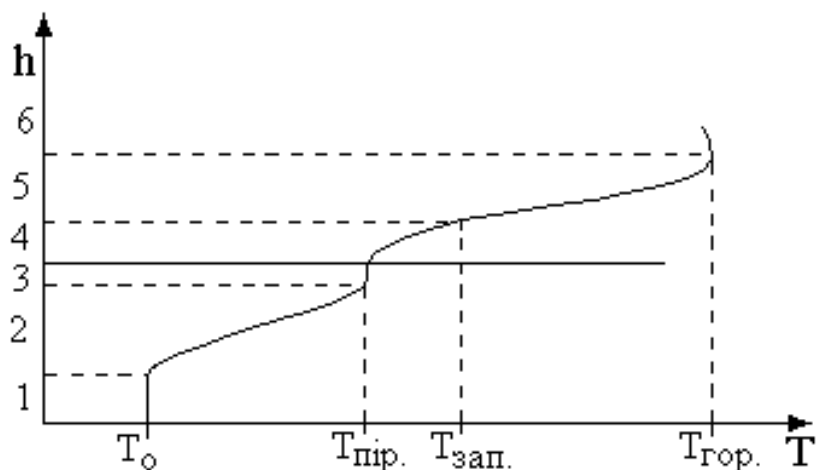


Рис. 9.1 – Графік розподілу температури у зразку ТГМ і над його поверхнею під час горіння

T_0 , $T_{\text{пир.}}$, $T_{\text{зап.}}$, $T_{\text{гор}}$ - температури початкова, піролізу, запалення, горіння відповідно.

1 - вихідний матеріал;

2 - зона попереднього нагріву матеріалу (нагрів до температури початку фізико-хімічних перетворень);

3 - зона фізико-хімічних перетворень (плавлення або розкладання конденсованої фази (твердої і рідкої));

4 - зона сумішоутворення низькомолекулярних речовин, що виділилися при газифікації конденсованої фази, з повітрям, і нагрів суміші до $T_{\text{зап.}}$;

5 - фронт полум'я, де виділяється основна частка теплової енергії, спостерігаються максимальна температура і світлове випромінювання;

6 - зона продуктів горіння, де продукти реакції змішуються з холодним повітрям і поступово охолоджуються.

Таким чином, процес горіння більшості ТГМ (що газифікуються) починається з гомогенного режиму. Горіння характеризується високою швидкістю поширення, потужними конвекційними і променистими потоками.

Час займання – це час від початку дії джерела запалення на горючу речовину до появи процесу горіння.

Для ТГМ, що газифікуються, час займання визначається швидкістю утворення над поверхнею матеріалу летючих горючих компонентів в концентрації, що перевищує нижню КМПП. Час займання включає в себе час, який витрачається на нагрів зразка до температури початку газифікації, $\tau_{\text{нагр}}$, і час газифікації $\tau_{\text{газифік}}$, що витрачається на досягнення критичної концентрації горючих газоподібних продуктів розкладання φ_n .

$$\tau_{\text{займ}} = \tau_{\text{нагр}} + \tau_{\text{газифік}}$$

У свою чергу, кількість і склад летючих сполук залежить від виду ТГМ, часу теплового впливу джерела запалювання і його потужності. Чим більша інтенсивність теплового впливу, тим швидше йде процес піролізу, вище інтенсивність виділення летючих речовині, отже, менше час займання.

Після запалення ТГМ від місця впливу джерела запалення відбувається переміщення фронту полум'я по поверхні матеріалу. Поширення горіння протікає за рахунок передачі тепла від полум'я до сусідніх ділянок матеріалу. Передача тепла здійснюється за різними механізмами: випромінювання, конвекції і теплопровідності. У залежності від умов горіння, співвідношення кількостей тепла, що поступають цими видами теплопередачі, може бути різним. Тому швидкість поширення полум'я по поверхні ТГМ залежить від умов горіння.

Найбільший вплив на швидкість поширення полум'я по поверхні ТГМ виявляють наступні фактори:

- природа матеріалу, його фізико-хімічні властивості, термічна стійкість, відсоток утворення летючих горючих компонентів, які обумовлюють швидкість утворення горючої суміші;
- вологість матеріалу;

- орієнтація зразка в просторі;
- швидкість і напрям повітряних потоків;
- початкова температура матеріалу;
- геометричні розміри зразка (фізична товщина, ступінь подрібнення).

Зі збільшенням вологості матеріалу лінійна швидкість поширення полум'я v_1 знижується, що пов'язано із збільшенням витрат тепла на випаровування з поверхневих шарів вологи і уповільненням процесу розкладання. Для матеріалів рослинного походження стадія сушки є найбільш тривалою і може становити до 55% від загальної тривалості процесу запалення. При вологості 14% полум'яне горіння деревини припиняється.

На відміну від рідин поверхня ТГМ може знаходитися під різними кутами до горизонту. Відповідно до цього змінюється і швидкість поширення полум'я. При зростанні від'ємних кутів нахилу (напряму руху полум'я зверху вниз) швидкість поширення полум'я не змінюється або слабо зменшується. При збільшенні додатних кутів нахилу (напряму руху полум'я знизу вгору) понад 15° швидкість поширення полум'я різко зростає. Це пояснюється збільшенням частки випромінювання від зони горіння до поверхні ТГМ і головним чином конвекційної теплопередачі.

При збільшенні швидкості вітру в напрямку поширення полум'я швидкість поширення полум'я зростає. У цьому випадку механізм впливу вітру аналогічний механізму впливу кута нахилу зразка: полум'я нахиляється до поверхні матеріалу, внаслідок чого збільшується тепловий потік від зони горіння до поверхні ТГМ.

Потік повітря, направлений проти руху полум'я, впливає двояким чином на V_1 . За малих швидкостей повітря відбувається більш інтенсивно змішування горючих продуктів піролізу з окислювачем, швидше відбувається утворення горючої суміші, що прискорює поширення полум'я. При збільшенні швидкості вітру більше за $4 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$, внаслідок аеродинамічного гальмування і охолодження поверхні перед фронтом

полум'я, v_1 буде знижуватися аж до зриву полум'я.

Суттєво впливає на v_1 товщина зразка. Розрізняють термічно товсті і термічно тонкі зразки. Розподіл цей ґрунтується на порівнянні фізичної товщини з термічною. Під **термічною** розуміють товщину прогрітого шару ТГМ на момент поширення горіння на цю ділянку. Якщо фізична товщина більше термічної, то зразок називається **термічно товстим**, якщо менше - **термічно тонким**.

При збільшенні товщини в межах термічно тонких зразків швидкість поширення полум'я знижується внаслідок збільшення тепловтрат від поверхні горіння на прогрівання матеріалу углиб.

Для термічно товстих зразків швидкість поширення не залежить від їх товщини.

Відмітною особливістю горіння ТГМ є наявність певних умов, за яких самостійне поширення горіння, що виникло, по поверхні матеріалу стає неможливим. Це пояснюється значною енергоємністю тих підготовчих процесів, які передують запаленню матеріалу. Більшість матеріалів рослинного походження у виді термічно товстих зразків в горизонтальному або вертикальному (зверху вниз) положенні на повітрі за нормальної температури не здатні до самостійного поширення полум'я. Так, на споживчому папері товщиною більше за 0,7 мм самостійне горіння зверху вниз вже не відбувається.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОРІЄНТАЦІЇ ЗРАЗКА НА ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я ПО ПОВЕРХНІ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: Дослідити фактори, що впливають на лінійну швидкість поширення полум'я. Визначити залежність лінійної

швидкості поширення полум'я по поверхні ТГМ від кута нахилу зразка.

Опис лабораторної установки

Визначення швидкості поширення фронту полум'я по поверхні ТГМ проводять на установці, яка складається з лабораторного штативу з лапкою і кутомірного пристрою із затискачем для зразків досліджуваного матеріалу.

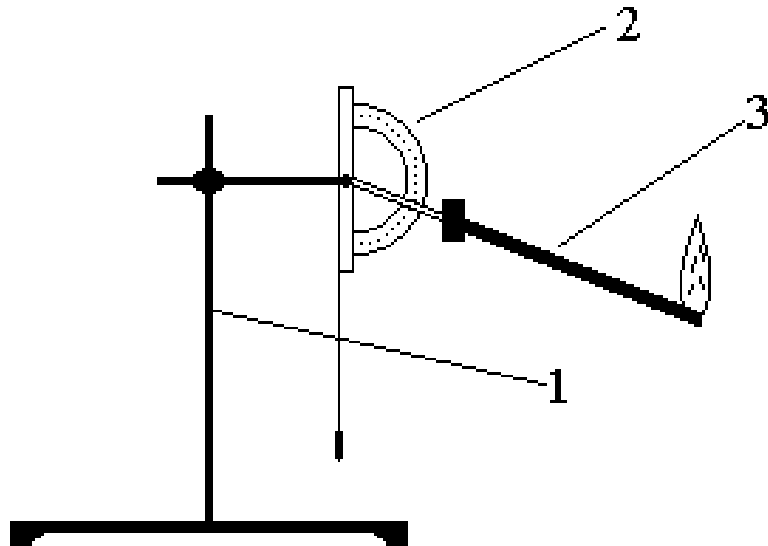


Рис. 9.2 — Схема лабораторної установки для визначення лінійної швидкості поширення полум'я по поверхні ТГМ.

- 1) лабораторний штатив;
- 2) кутомір із затискачем;
- 3) зразок досліджуваного матеріалу

На установці можна вимірювати швидкість поширення полум'я по поверхні ТГМ, в залежності від виду матеріалу, величини питомої поверхні зразка, кута нахилу, вологості, температури та інших факторів.

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення дослідів

Для дослідження беруть соснові бруски, що мають однаковий розмір поперечного перетину в межах до 8x8 мм і довжиною до 150-200 мм.

1. Зразки деревини попередньо висушити в сушильній шафі за температури 120°C протягом 2-х годин.

2. На одержаних зразках нанести риси на відстані 2 см від кінців. Ці місця призначені для закріплення в затискачі і для розпалювання.

3. Середню частину зразка поділити на три рівні відрізки.

Кути нахилу задає викладач, із розрахунку 3-4 зразка на кожен кут нахилу.

Проведення досліду

1. Зразок деревини встановити в кутомір на заданий кут і закріпити затискачем.

2. За допомогою газового пальника запалити зразок з вільного кінця.

3. Після проходження фронтом полум'я нульової точки (2 см від вільного краю зразка) увімкнути секундомір і заміряти час проходження фронтом полум'я окремих ділянок досліджуваного зразка.

4. Недопалки викидати у відро із водою.

5. Дослід повторити із іншими заданими кутами нахилу.

6. Розрахувати швидкість поширення полум'я по окремій ділянці і середню швидкість поширення полум'я по поверхні зразка.

7. Результати занести в таблицю результатів досліду.

Таблиця результатів досліду

| № | Кут нахилу, град | Довжина ділянки, см | Час проходження фронтом полум'я ділянки, с | Швидкість поширення горіння на ділянці, см·с ⁻¹ | Середня швидкість, см·с ⁻¹ |
|----|------------------|---------------------|--|--|---------------------------------------|
| 1. | | | | | |

8. На основі результатів дослідів групи скласти зведену таблицю результатів і побудувати графік залежності швидкості поширення фронту полум'я від кута нахилу зразка. Зробити висновок.

ВИЗНАЧЕННЯ ГРУПИ ВАЖКОГОРЮЧИХ І ГОРЮЧИХ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: Визначити групу горючих і важкогорючих твердих речовин і матеріалів за поведінкою матеріалу під час нагрівання.

Опис лабораторної установки

Основою лабораторної установки є керамічна реакційна камера прямокутної форми (88x88 мм в основі, висотою 295 мм), яка встановлена на підставці.

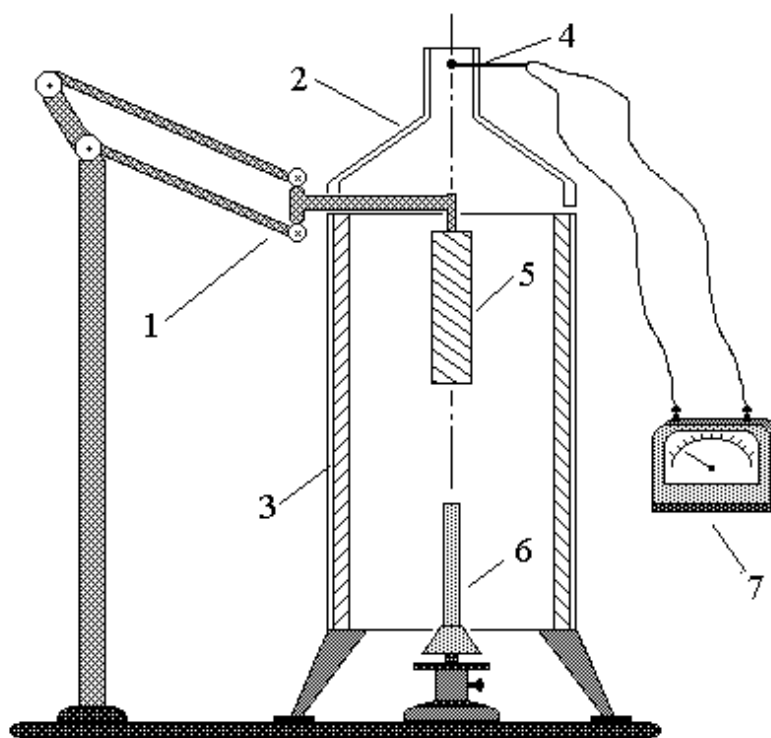


Рис. 9.2 — Схема лабораторної установки для визначення групи важкогорючих і горючих твердих речовин і матеріалів

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1) тримач зразка матеріалу; | 5) досліджуваний зразок; |
| 2) зонт; | 6) газовий пальник; |
| 3) реакційна камера; | 7) мілівольтметр |
| 4) термопара; | |

Внутрішня поверхня реакційної камери покрита алюмінієвою фольгою в два шари. В нижній частині реакційної камери встановлено газовий пальник з діаметром отвору 7,0 мм. Досліджуваний матеріал за допомогою тримача розміщується у верхній частині по центру реакційної камери. Зверху реакційна камера прикрита зонтом, по центру якого закріплено термопару для реєстрації температури газів, що виходять.

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

1. Для випробування готують зразки матеріалу довжиною 60 мм, висотою 150 мм і фактичною товщиною не більше 30 мм.
2. До проведення випробувань зразки витримують у сушильній шафі за температури 60°C протягом доби, охолоджують, не виймаючи із шафи.
3. Перед проведенням досліду зразки зважують із похибкою не більше $\pm 0,1$ г.

Проведення досліду

1. Зразок матеріалу закріплюють вертикально в тримачі.
2. Запалюють газовий пальник і регулюють витрату газу таким чином, щоб температура газів, що виходять протягом 3-х хвилин, становила $200 \pm 5^\circ\text{C}$.
3. Піднімають зонтик, розміщують зразок досліджуваного матеріалу по центру реакційної камери та опускають зонтик.
4. Фіксують температуру газів, що виходять через зонтик. Якщо під час випробування температура газів не перевищуватиме 260°C , випробування здійснюють протягом 5 хв.
5. По закінченні випробування пальник вимикають. Після охолодження до кімнатної температури зразок видаляють із реакційної камери і зважують

із похибкою не більше $\pm 0,1$ г.

6. Якщо під час випробування температура газів перевищуватиме 260°C , випробування проводять до досягнення максимальних значень температури, реєструючи час її досягнення.

7. По закінченні випробування палик вимикають, зразок видаляють із реакційної камери і після охолодження зважують із похибкою не більше $\pm 0,1$ г.

8. Результати випробувань заносять в таблицю.

Таблиця результатів дослідів

| № | Матеріал зразка | Максимальна температура, $t_{\text{max}}, ^{\circ}\text{C}$ | Час досягнення максимальної температури, $\tau, \text{с}$ | Маса зразка до випробування, $m_{\text{п}}, \text{Г}$ | Маса зразка після випробування, $m_{\text{к}}, \text{Г}$ |
|---|-----------------|---|---|---|--|
| 1 | | | | | |

9. Після кожного випробування очищують від сажі спай термопари.

10. За результатами випробувань розраховують величину максимального приросту температури Δt_{max} :

$$\Delta t_{\text{max}} = t_{\text{max}} - t_0, ^{\circ}\text{C},$$

де t_{max} – максимальна температура газів, що виходять, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 – початкова температура випробування, 200°C .

11. За результатами випробувань розраховують втрату маси зразка Δm :

$$\Delta m = \frac{m_{\text{п}} - m_{\text{к}}}{m_{\text{п}}} \cdot 100, \%,$$

де $m_{\text{п}}$ – маса зразка до випробування, г;

$m_{\text{к}}$ – маса зразка після випробування, г.

12. За величиною максимального приросту температури Δt_{max} і втратою маси Δm зразка матеріали класифікують на:

- важкогорючі, якщо $\Delta t_{\text{max}} < 60^{\circ}\text{C}$, $\Delta m < 60\%$
- горючі, якщо $\Delta t_{\text{max}} \geq 60^{\circ}\text{C}$, $\Delta m \geq 60\%$.

За часом досягнення максимальної температури (τ) горючі матеріали поділяють на:

- важкозаймисті, якщо $\tau > 4$ хв;
- середньої займистості, якщо $0,5 \leq \tau \leq 4$ хв
- легкозаймисті, якщо $\tau < 0,5$ хв

13. Зробити висновок.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

- 1) Класифікація ТГМ.
- 2) Умови запалення і горіння ТГМ.
- 3) Механізм поширення полум'я по поверхні ТГМ.
- 4) Фактори, що впливають на швидкість поширення полум'я по поверхні ТГМ.
- 5) Горіння целюлозовмісних матеріалів ЦВМ.
- 6) Особливості горіння полімерів.
- 7) Горіння металів.
- 8) Тління, як особливий вид горіння ТГМ.
- 9) Способи зниження горючості ТГМ.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10
ВИЗНАЧЕННЯ НИЖНЬОЇ КОНЦЕНТРАЦІЙНОЇ МЕЖІ
АЕРОЗОЛЮ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ СТУПЕНЯ
ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ПИЛУ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Пил це дисперсна система, що складається з твердої дисперсної фази яка знаходиться в газоподібному дисперсійному середовищі. З властивостей пилу, що визначають його пожежну небезпеку, найбільш важливими є: дисперсність (ступінь подрібнення матеріалу), хімічна активність, адсорбційна здатність, схильність до електризації. Визначальною властивістю серед них є дисперсність. Із зростанням дисперсності зростає хімічна активність, адсорбційна здатність і схильність до електризації.

В залежності від характеру знаходження дисперсної фази у дисперсійному середовищі розрізняють **аерозоль** – пил у завислому стані і **аерогель** – пил в осілому стані.

Горіння аерогелю подібне до горіння твердого горючого матеріалу, з якого цей пил отримано, однак у зв'язку із збільшенням дисперсності речовини горіння аерогелю має деякі особливості. Основними параметрами, що характеризують пожежну небезпеку аерогелю, є температури запалення і самоспалахування.

Швидкість процесу розкладання аерогелю вище ніж у ТГМ, що пояснюється розвиненою поверхнею, підвищеною хімічною активністю, зниженою теплопровідністю матеріалу при його подрібненні, збільшеною адсорбційною здатністю пилу. Це зумовлює менший період індукції запалення, більшу швидкість поширення полум'я, а також підвищену схильність до самозаймання, у порівнянні з вихідним матеріалом, з якого пил отриманий.

Відмітною особливістю аерогелю є його здатність переходити у

завислий стан. Пил може переходити у завислий стан внаслідок механічної дії (струшування), дії повітряних потоків, а також до завихрення пилу може приводити і збільшення швидкості поширення горіння по поверхні відкладень пилу.

При поширенні полум'я над поверхнею аерогелю хвиля горіння, приводить до підвищення тиску перед фронтом полум'я і утворення повітряних конвекційних потоків. Конвекційні потоки, що виникають при горінні, можуть приводити до завихрення пилу і переходу горіння в кінетичний режим.

Завдяки адсорбції повітря частками пилу, в товщі пилових відкладень може відбуватись тління. Тліючий пил представляє собою велику небезпеку, оскільки горючі продукти розкладання, що виділяються, можуть накопичуватися в закритих об'ємах, і горіння із дифузійного може перейти в кінетичне; навіть при слабкому струшуванні (завихренні) тліюча маса може спалахувати через збільшення надходження повітря і викликати вибух завислого пилу.

Аерозолі за своїми властивостями займають проміжне положення між аерогелем і гомогенною газоповітряною сумішшю. Так само, як і аерогелі, аерозолі є гетерогенними дисперсними системами з однаковою твердою фазою, і поведінка їх визначається фізико-хімічними властивостями твердої фази. З газоповітряними сумішами аерозолі схожі тим, що горіння більшості з них протікає з вибухом, і тому їх пожежна небезпека характеризується параметрами, типовими для газових сумішей, а саме: КМПП, мінімальною енергією запалювання, максимальним тиском вибуху.

Особливості горіння аерозолу, у порівнянні із горінням газів, наступні:

1) Аерозоль – гетерогенна система. Це обумовлює більш високу енергію запалювання (на два порядки вище), ніж для газових сумішей, що пояснюється необхідністю протікання реакцій розкладання твердої фази.

2) Поширення горіння по всьому об'єму аерозолу відбувається тільки в тому випадку, коли концентрація аерозолу знаходиться в діапазоні

концентраційних меж поширення полум'я, проте схильність аерозолі до коагуляції (злипання часток аерозолі) і осадження істотно відрізняє їх від газоповітряних сумішей. Так, верхня концентраційна межа поширення полум'я для пилу може бути визначена в лабораторних умовах, але на практиці не використовується. Це зумовлено тим, що, внаслідок осадження, концентрація пилу з часом зменшується і може увійти у вибухонебезпечний діапазон. Тому, на відміну від газових систем, пожежо- і вибухонебезпеку аерозолі і характеризує тільки НКМПП.

3) Під дією джерела запалювання відбувається запалення пилу в елементарному об'ємі, після чого фронт полум'я починає поширюватися по всьому об'єму аерозолі. Якщо поширення полум'я в газових сумішах зумовлено прогріванням вихідної суміші за рахунок теплопровідності, то поширення полум'я в пилоповітряних сумішах відбувається за рахунок прогрівання холодної суміші променистим потоком, що надходить від фронту полум'я. Необхідною умовою поширення горіння є попадання в зону теплового впливу (в зону «вогненної сфери») частинки, що горить, холодної пилинки, а енергія, яка виділяється при горінні, повинна бути достатньою для протікання підготовчих процесів. Стаціонарне поширення фронту полум'я забезпечується механізмом естафетного горіння - від частки до частки.

4) Множинні (поетапні) вибухи, що проходять у швидкій послідовності один за одним. При дослідженні вибухів пилу в будівлях, вугільних шахтах встановлено, що первинний вибух відбувається за концентрації пилу в повітрі близькій до НКМПП. Це обумовлює початкове підвищення тиску. Ударна хвиля першого вибуху підіймає в повітря осілий пил і його концентрація стає значно вищою, при цьому різко зростає інтенсивність кінетичного горіння аерозолі. З цієї причини другий вибух пилоповітряної суміші має більшу потужність, що може призводити до руйнування будівельних конструкцій.

Вибухонебезпека пилоповітряних систем залежить від ряду чинників,

основними з яких є: дисперсність пилу, вміст летючих компонентів, вологість пилу, вміст негорючих газів, зольність матеріалу, потужність джерела запалювання.

Всі фактори, що сприяють збільшенню швидкості хімічної реакції і інтенсифікації тепловиділення, зменшують величину НКМПП пилу.

При класифікації пилу горючих речовин за ступенем пожежної небезпеки враховують, що у стані аерозолі пил може горіти в кінетичному режимі, тобто з вибухом, тому за основний параметр пожежної небезпеки беруть НКМПП. В осілому стані пил може самоспалахувати і самозайматися, і для оцінки пожежонебезпечних властивостей аерогелю використовують температуру самоспалахування.

За ступенем небезпеки горючий пил поділяють на дві групи і чотири класи:

Перша група - вибухонебезпечний пил. Пил, здатний до кінетичного горіння, який має нижню концентраційну межу поширення полум'я до 65 г/м^{-3} включно.

1 клас - найбільш вибухонебезпечний пил з НКМПП $15 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ і нижче;

2 клас - вибухонебезпечний пил з НКМПП від 16 і до $65 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$;

Друга група - пожежонебезпечний пил.

3 клас - найбільш пожежонебезпечний пил з T_{cc} аерогелю менше або дорівнює $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

4 клас - пожежонебезпечний пил з T_{cc} аерогелю вище за $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Згідно із "ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила побудови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок" вибухонебезпечним вважається пил, надлишковий тиск вибуху якого більше або дорівнює 5 кПа.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Встановити ступінь небезпеки пилу досліджуваної речовини.

Визначити фактори, що впливають на

пожежовибухонебезпеку пилу.

Опис лабораторної установки

Установка призначена для дослідного вимірювання нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКМПП) пилу у повітрі.

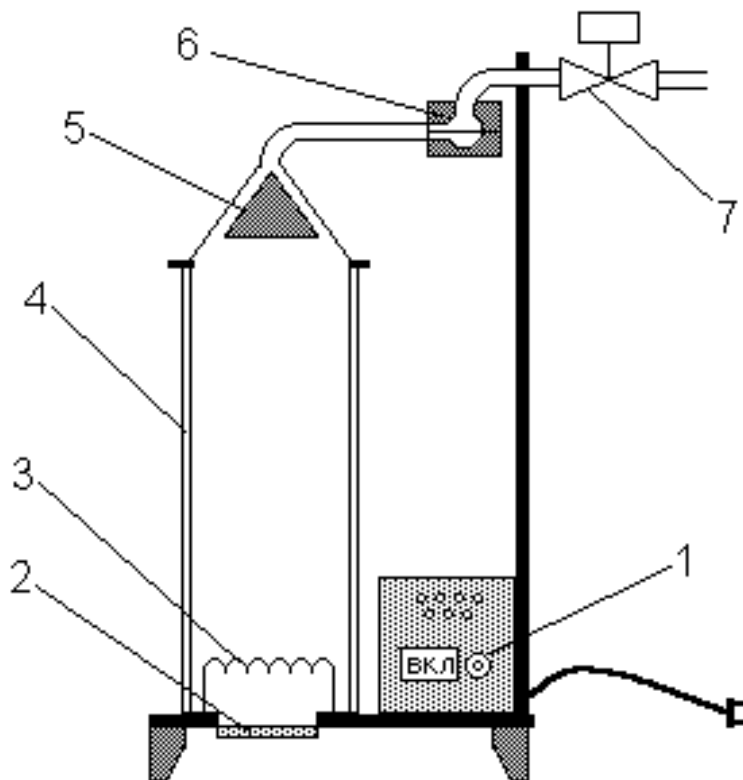


Рис. 10.1 — Схема лабораторної установки для визначення нижньої концентраційної межі поширення полум'я пилу

- | | |
|------------------------|-----------------------------------|
| 1) джерело живлення; | 5) розпилювач; |
| 2) запобіжний клапан; | 6) форкамера; |
| 3) джерело запалення; | 7) кран подачі стиснутого повітря |
| 4) реакційна посудина; | |

Основними частинами установки є реакційна посудина, що являє собою скляний циліндр діаметром 105 мм і висотою 425 мм і контрольною міткою на висоті 300 мм. Реакційна посудина закріплена між нижнім і верхнім металевими фланцями. На нижньому фланці знаходиться запобіжна

мембрана, через яку скидається надлишковий тиск в разі запалення пилю. До верхнього фланця приєднаний конусний розпилювач, з'єднаний із форкамерою, в яку поміщають наважку досліджуваної речовини. До форкамери приєднано магістраль стиснутого повітря, подача якого регулюється електромагнітним клапаном. Час відкривання електромагнітного клапану $(0,3 \pm 0,1)$ с. Стиснуте повітря під тиском (300 ± 10) кПа подається в магістраль із ресивера.

Джерело запалювання являє собою ніхромову спіраль із проволочки діаметром 0,8 мм довжиною 50 мм. Час виходу спіралі на робочу температуру $(1050 \pm 50^\circ \text{C})$ не більше 8 ± 1 с. Спіраль розташована на нижньому фланці на відстані (150 ± 5) мм.

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення дослідів

1. Провести попередній розрахунок НКМПП пилю виданої речовини.

1.1 Розрахувати об'ємну нижню концентраційну межу пилю з урахуванням хімічного складу речовини за формулою:

$$\varphi_{\text{н}}^{\circ} = \frac{100}{1 + h_{\text{f}} \Delta H_{\text{f}}^{\circ} + \sum_{j=1}^n h_j m_j + \sum_{s=1}^q h_s m_s}, \%$$

де $h_{\text{f}} = 0,0246 \cdot \text{моль} \cdot \text{кДж}^{-1}$;

$\Delta H_{\text{f}}^{\circ}$ - теплота утворення речовини у газоподібному стані, $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$;

m_j, m_s - число атомів та структурних груп.

h_j, h_s – коефіцієнт відповідно j -го елемента та s -ої групи (додаток 12) [9].

Для цього заповнити таблицю 10.1, значення теплоти утворення досліджуваної речовини взяти із довідника [9].

Таблиця 10.1.

| Тип j -го атому | Число атомів, m_j | h_j |
|-------------------|---------------------|-------|
| | | |

1.2. Розрахувати масову нижню концентраційну межу поширення полум'я пилу:

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

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

де μ - молярна маса горючої речовини.

1.3. Розрахувати масову нижню концентраційну межу поширення полум'я за формулою Шоневальда:

$$\varphi'_H = a + \frac{b \cdot 10^6}{Q'_H}, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3},$$

де a і b – константи, які залежать від виду горючого матеріалу (додаток 13);

Q'_H – масова теплота згоряння кДж·кг⁻¹.

Для індивідуальних речовин масова теплота згоряння розраховується виходячи із закону Гесса:

$$Q_{\text{гор}} = \left| \sum_i n_i H_{\text{fngi}}^0 - H_{\text{fgr}}^0 \right|, \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

$$Q'_{\text{гор}} = \frac{Q_{\text{гор}} \cdot 1000}{\mu}, \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1},$$

де μ - молярна маса горючої речовини, кг·кмоль⁻¹

Для складних речовин масову теплоту згоряння розраховують за

формулою Менделєєва:

$$Q_H' = 339,4 \cdot \varphi_C + 1256,8 \cdot \varphi_H + 108,9 (\varphi_S - \varphi_O - \varphi_N) - 25,1(9 \cdot \varphi_H + W), \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$$

де $\varphi_C, \varphi_H, \varphi_S, \varphi_O, \varphi_N$ – вміст відповідно карбону, гідрогену, сульфуру, кисню, нітрогену в горючій речовині, %;

W - вміст вологи в горючій речовині, %.

2. На основі масової нижньої концентраційної межі поширення полум'я визначити ступінь пожежної небезпеки пилу.
3. Розрахувати масу наважки пилу за формулою:

$$m_{\text{пилу}} = \varphi_H' \cdot V_{\text{рп}}, \text{ г}$$

де φ_H' – масова нижня концентраційна межа поширення полум'я пилу, $\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$

$V_{\text{рп}}$ - об'єм реакційної посудини, м^{-3} .

4. Розтерти досліджувану речовину у фарфоровій ступці і відсіяти частки розміром менше 50 мкм для металів і менше 100 мкм для інших речовин.
5. Накачати повітря в ресивер і перевірити роботу електричного клапана.

Працездатність приладу перевіряють за однією із контрольних речовин.

| Речовина | Розміри часток, мкм | НКМПП, $\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$ |
|-----------------------------------|------------------------|--|
| Бензойна кислота за ГОСТ 10521-78 | менше 100 | $20,0 \pm 3,0$ |
| Порошок титану | менше 50 | $45,0 \pm 2,5$ |

Проведення дослідю

1. Зважити наважку досліджуваної речовини із точністю 0,01 г.
2. Помістити наважку у форкамеру. Для цього слід викрутити її нижню частину і помістити досліджувану речовину у напівсферичну лунку.
3. Увімкнути джерело запалювання, після досягнення робочої температури увімкнути електромагнітний клапан і провести розпилювання наважки.
4. Візуально фіксують “займання” або “відмову”. “Займанням” вважається поширення полум’я по всьому об’єму реакційної посудини до контрольної мітки.
5. Змінюючи масу наважки на 10% визначити НКМПП.
6. Результати дослідів занести в таблицю.

Таблиця результатів дослідів

| № дослідів | Маса наважки, г | Концентрація пилу, г·м⁻³ | Результат дослідів (займання / відмова) |
|-------------------|------------------------|--|--|
| | | | |

7. Зробити висновок

Перед кожним випробуванням очищують реакційну посудину від решток пилу і продуктів згорання.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

1. Пил, та його класифікація.
2. Властивості пилу, що обумовлюють його пожежну небезпеку.
3. Особливості горіння аерозолу у порівнянні із газами.
4. Особливості горіння аерогелю у порівнянні із ТГМ.
5. Фактори, що впливають на ступінь пожежної небезпеки пилу.
6. Класифікація пилу за ступенем пожежної небезпеки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №11

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛО- ТА МАСООБМІНУ

ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Під розвитком пожежі розуміють зміну основних параметрів пожежі в часі та просторі. Найголовнішими параметрами пожежі в приміщенні, які змінюються з часом, є: пожежне навантаження, лінійна швидкість поширення пожежі, масова швидкість вигорання пожежного навантаження, площа пожежі, температура пожежі, інтенсивність газообміну та задимлення на пожежі, висота нейтральної зони.

Пожежне навантаження $R_{\text{пож}}$ – це питома кількість теплоти, що може виділитися при пожежі, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}$. Іноді пожежне навантаження виміряють як масу всіх горючих та важкогорючих матеріалів, що приходить на одиницю площі підлоги приміщення, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$.

Лінійна швидкість поширення пожежі v_1 – відстань, яку проходить фронт пожежі за одиницю часу, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Масова швидкість вигорання $v_{\text{мв}}$ – кількість речовини, що вигоряє в одиницю часу з одиниці площі горіння, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$.

Площа пожежі $S_{\text{пож}}$ – площа проекції зони горіння на горизонтальну або вертикальну площину.

Температура пожежі в огородженні – середньооб'ємна температура газового середовища в приміщенні, в якому відбувається пожежа.

Інтенсивність газообміну $I_{\text{Г}}$ – кількість повітря, що притікає в одиницю часу до одиниці площі пожежі, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$.

Густина задимлення – кількість диму, що знаходиться в одиниці об'єму приміщення, $\text{г}\cdot\text{м}^{-3}$.

Теплота пожежі $Q_{\text{пож}}$ – кількість тепла, що виділяється в зоні горіння

в одиницю часу.

$$Q_{\text{пож}} = \eta \cdot v_{\text{м}} \cdot S_{\text{пож}} \cdot Q_{\text{н}}', \text{ кДж с}^{-1}, \quad (11.1)$$

де η - коефіцієнт повноти згоряння, який залежить від умов газообміну;

$v_{\text{м}}$ - масова швидкість вигорання ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$);

$S_{\text{пож}}$ - площа пожежі, м^2 ;

$Q_{\text{н}}'$ - робоча теплота згоряння, $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Ці параметри можна не тільки вимірювати, але і спрогнозувати їх зміну за допомогою розрахунків.

Зміна температури пожежі в часі називається **температурним режимом пожежі**.

Температура пожежі в огороженні є функцією:

- об'єму приміщення;
- часу розвитку горіння;
- площі пожежі;
- кількості пожежного навантаження;
- виду горючої речовини (теплоти згоряння речовини, масової швидкості вигорання речовини, лінійної швидкості поширення горіння);
- інтенсивності газообміну;
- тепловтрат на нагрівання конструкцій;
- температури повітря, що надходить в приміщення і т.п.

Кількість тепла, що виділяється на пожежі, а, отже, і температура пожежі істотно залежать від параметрів газообміну між приміщенням і зовнішнім середовищем. Виходячи з умов газообміну, пожежі в огороженні можна поділити на пожежі, що регулюються вентиляцією, та пожежі, що регулюються пожежним навантаженням.

Пожежі, що регулюються вентиляцією, (ПРВ) – пожежі, які протікають при обмеженому вмісті кисню в газовому середовищі приміщення і

надлишку горючих речовин та матеріалів. Параметри горіння визначаються інтенсивністю газообміну, оскільки окислювача не вистачає для повного згоряння пожежного навантаження.

Пожежі, що регулюються пожежним навантаженням, (ПРН) – пожежі, які протікають при надлишку повітря в приміщенні, а розвиток пожежі залежить від наявності та розташування пожежного навантаження. За своїми параметрами такі пожежі схожі з пожежами на відкритому просторі. За умов ПРН температура пожежі більша, а час розвитку менший, ніж для ПРВ.

Треба враховувати, що продукти неповного згоряння утворюються незалежно від коефіцієнта надлишку повітря (у верхній частині дифузійного полум'я горіння завжди відбувається при нестачі кисню).

При пожежі в огороженні тепло- і масообмін обмежені огорожуючими конструкціями, тепло і дим накопичуються в приміщенні, а тому зона теплового впливу і зона задимлення змінюються. Зона задимлення характеризується зниженим вмістом кисню, підвищеним вмістом токсичних речовин і обмеженою видимістю. Зона теплового впливу характеризується критичною температурою, що є небезпечною для організму людини або за якої відбуваються суттєві зміни фізичних властивостей будівельних матеріалів.

Отже, з розвитком пожежі настане момент часу, коли все приміщення буде охоплено цими зонами і перебування в них людей буде неможливе. Такий час називають критичним часом розвитку пожежі.

Критичний час розвитку пожежі – час від виникнення горіння до досягнення критичного значення температури або концентрації кисню нижче критичних значень.

Критичний час розвитку є функцією об'єму приміщення, площі пожежі, теплоти згоряння, масової швидкості горіння.

Якщо площа пожежі практично стала (при горінні рідин), то розрахунок критичного часу до досягнення критичної температури в приміщенні проводиться за формулою:

$$\tau_{кр}^t = \frac{V_{прим} c_p (t_{кр} - t_0)}{(1-k)\eta Q_H' S_{пож} v_m}, \text{ с}, \quad (11.3)$$

де $V_{прим}$ – об'єм приміщення, м³;

c_p – теплоємність повітря, кДж·кг⁻¹·К⁻¹;

$t_{кр}$ – критична температура, °С;

t_0 – початкова температура в приміщенні, °С;

k – коефіцієнт тепловтрат який визначає частку тепла пожежі, що витрачається на нагрівання конструкцій приміщення та горючої речовини;

Якщо прийняти $k = 0,21$, $c_p = 1,29$ кДж·кг⁻¹·К⁻¹, $t_{кр} = 70^\circ\text{С}$, а $t_0 = 20^\circ\text{С}$, то можна записати:

$$\tau_{кр}^t = 81,9 \frac{V_{прим}}{\eta Q_H' S_{пож} v_m}, \text{ с}. \quad (11.4)$$

При зниженні концентрації кисню в повітрі до 17% відбувається втрата свідомості, при зниженні концентрації нижче 14- 15 % наступають в організмі людини необоротні процеси, і може наступити смерть.

Швидкість зниження концентрації кисню в приміщенні, в якому відбувається пожежа, залежить від об'єму повітря, яке необхідне для повного згорання одиниці кількості речовини, від площі горіння, масової швидкості вигорання, від об'єму приміщення. Виходячи з цього, час досягнення критичної концентрації кисню можна визначити як:

$$\tau_{кр}^{O_2} = \frac{0,33V_{прим}}{\eta S_{пож} v_m v_{II}^0}, \text{ с}, \quad (11.5)$$

де $v_{\text{п}}^0$ - теоретичний об'єм повітря, що необхідний для згорання 1 кг горючої речовини.

Якщо в приміщенні горять тверді горючі матеріали, площа пожежі з часом розвитку збільшується і визначається радіусом розвитку пожежі, який, в свою чергу, залежить від квадрату лінійної швидкості поширення горіння та квадрату часу розвитку пожежі.

Під час пожежі середньооб'ємна температура в приміщенні буде залежати від теплоти пожежі, умов газообміну та часу розвитку пожежі. Отже температуру пожежі в огорожі можна представити як функцію:

$$T_{\text{пож}} = (q, \alpha, \tau),$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря;

τ – проміжок часу від виникнення пожежі до моменту виявлення;

q – густина теплового потоку, що надходить до огорожуючих конструкцій.

Густину теплового потоку можна визначити на основі основних параметрів розвитку пожежі:

$$q = \frac{\eta v_{\text{п}} Q_{\text{н}} S_{\text{пож}}}{S_{\text{огор}}}, \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}, \quad (11.6)$$

де $S_{\text{огор}}$ – площа огорожуючих конструкцій.

Статистична обробка експериментальних даних дозволила представити ці залежності у виді номограм.

Для визначення коефіцієнта надлишку повітря за номограмою (додаток 14) слід попередньо визначити номер кривої за співвідношенням площі приточного отвору і площі пожежі $S_{\text{притоки}}/S_{\text{пож}}$, а за співвідношенням площі пожежі і площі підлоги $S_{\text{пож}}/S_{\text{підл}}$ вид кривої (суцільна або пунктирна).

Приймаємо, що в разі розташування отворів на різних рівнях, на притоку повітря працюють нижні отвори, а на витoku продуктів згорання – верхні. Якщо отвори знаходяться на одному рівні, то на притоку повітря працює лише 1/3 площі всіх отворів. Далі, виходячи з табличного значення питомого теоретичного об'єму повітря $v_{\text{п}}^0$ на згорання одиниці маси горючої речовини, визначаємо коефіцієнт надлишку повітря α .

Користуючись номограмою (додаток 15), за розрахованих значень густини теплового потоку, коефіцієнта надлишку повітря визначається середньооб'ємна температура пожежі на визначений момент часу.

При виникненні горіння в замкнутому об'ємі приміщення над осередком горіння виникають конвекційні потоки продуктів горіння і нагрітого повітря. Холодне повітря підсмоктується димогазовим струменем в нижній частині димогазової колонки. На початковій стадії, коли осередок горіння має малі розміри, газовий потік не досягає перекриття, бо охолоджується за рахунок теплообміну і змішування з холодним повітрям. При збільшенні площі горіння потужність теплового потоку збільшується, газове середовище над осередком горіння нагрівається до більшої температури, утворюються потужні конвекційні потоки, що призводить до циркуляції всієї маси газів у приміщенні. В нижній частині колонки відбувається підсос повітря, взаємодія його з горючою речовиною, при цьому відбувається певне зниження тиску. За малої висоти приміщення гарячі потоки можуть досягти перекриття й омивати його. За рахунок підвищення температури продуктів горіння у верхній частині приміщення створюють надлишковий тиск. Продукти горіння, які охолоджуються за рахунок теплопередачі в стелю та в стіни приміщення, опускаються униз.

Характер руху повітряних мас залежить від конфігурації приміщення, наявності отворів, а також їх взаємного розташування.

Густина продуктів горіння в нижній і верхній частинах приміщення відрізняється від густини навколишнього повітря. Але на певній висоті від рівня підлоги приміщення фізичні параметри газового середовища в

приміщенні (густина) відповідають фізичним параметрам повітря поза приміщенням. Відповідно і тиск газового середовища буде таким же, як і тиск повітря поза приміщенням. Цю площину прийнято називати *нейтральною зоною* або *площиною рівних тисків*.

Нейтральною зоною називають уявну площину в приміщенні, рівнобіжну підлозі, на рівні якої тиск продуктів горіння дорівнює зовнішньому тиску повітря.

Умовно можна прийняти, що в об'ємі приміщення, яке знаходиться нижче нейтральної зони, знаходиться чисте повітря, а над нейтральною зоною – продукти горіння.

Якщо газообмін здійснюється через декілька отворів, які розташовані на різному рівні, їх можна умовно розділити на всмоктувальні (через які надходить свіже повітря в приміщення) і вихідні (через які розігріті продукти згорання виходять в атмосферу).

Приймаємо, що густина газу обернено пропорційна його температурі, отже можна записати, що висота нейтральної зони становить:

$$h_{\text{нз}} = \frac{H}{\left(\frac{S_{\text{прит}}}{S_{\text{вих}}}\right)^2 \frac{T_{\text{пож}}}{T_{\text{п}}} + 1} + 0,5h_{\text{прит}}, \text{ м}, \quad (11.7)$$

де **H** – висота між центрами приточного і витяжного отвору, м;

S_{прит}, S_{вих} – відповідно площа отворів, через які здійснюється приток повітря і вихід продуктів горіння, м²;

T_п – температура повітря, К;

T_{пож} – температура пожежі, К;

h_{прит} – висота приточного отвору, м.

При газообміні через один отвір, наприклад відкриті двері, вікно або декілька отворів, які знаходяться на одному рівні, процес підсосу повітря і

викиду здійснюється безпосередньо в тому самому отворі. На притоку працює тільки нижня частина отвору, а нейтральна зона розташовується безпосередньо в площині цього отвору. При цьому вище нейтральної зони продукти горіння виходять назовні, а в нижній частині отвору відбувається підсос повітря усередину приміщення. У цьому випадку для розрахунку положення нейтральної зони можна скористатись наступною формулою:

$$h_{\text{нз}} = \frac{h}{1 + 3\sqrt{\frac{T_{\text{пож}}}{T_{\text{п}}}}}, \text{ м}, \quad (11.8)$$

де h - висота отвору, через який здійснюється повітрообмін, м.

Аналіз рівнянь залежностей положення нейтральної зони показує, що положення площини рівних тисків буде тим вище, чим менший тиск продуктів горіння і більший тиск свіжого повітря, що надходить в приміщення. Ці залежності є основою під час організації евакуації людей і при проведенні бойових дій для успішного гасіння пожежі.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Дослідити зміну температури пожежі і висоти нейтральної зони в модельному приміщенні в залежності від часу розвитку пожежі та умов газообміну.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для дослідження параметрів пожежі в огорожі являє собою модель приміщення прямокутної форми. Передня і дві бічні стінки виконані з жаротривкого скла у сталевому каркасі, задня стінка, дно і кришка з азбоцементного листа. На задній стінці знаходяться термомпари, які розміщені на різній висоті модельного приміщення. Приєднуючи по черзі

термопари до потенціометра, вимірюють температуру в різних частинах приміщення. Газообмін в модельному приміщенні здійснюють за допомогою приточного і витяжного отворів, які розміщено на бічних стінках і які мають засувки для регулювання їх площі.

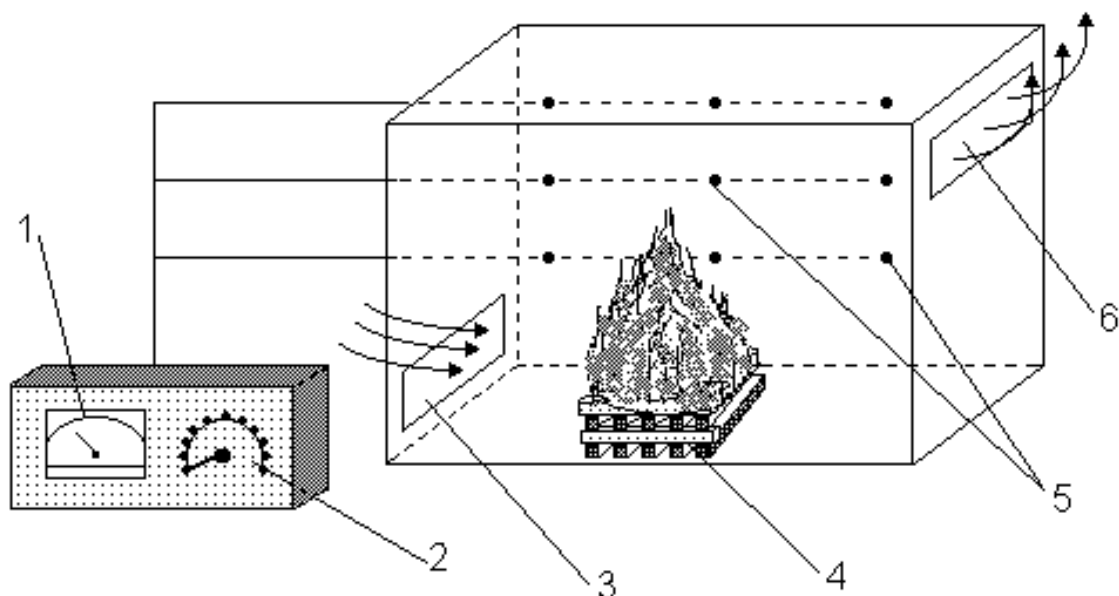


Рис. 11.3 — Схема лабораторної установки для визначення температури пожежі в огорожі

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1) потенціометр; | 4) осередок пожежі; |
| 2) перемикач термопар; | 5) термопари; |
| 3) приточний отвір; | 6) витяжний отвір |

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення дослідів

1. Із довідника РТП виписати параметри, що характеризують горючу речовину: нижчу теплоту згорання $Q'_н$, масову швидкість вигорання v_m , коефіцієнт повноти згорання η , об'єм повітря $v^0_п$ і продуктів згорання $v^0_{пг}$ на одиницю маси горючої речовини.

2. Заміряти параметри модельного приміщення, де відбуватиметься

пожежа. Викладач задає розміри приточного і витяжного отвору.

3. Скласти із дерев'яних брусків осередок пожежі, заміряти його розміри, визначити коефіцієнт поверхні і розмістити в середині модельного приміщення.

4. Розрахувати критичний час розвитку пожежі за температурою і вмістом кисню за формулами (11.4; 11.5).

5. Розрахувати густину теплового потоку q , $\text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$, за формулою (11.6).

6. За допомогою номограми (додаток **14**) визначити коефіцієнт надлишку повітря α і за допомогою номограми (додаток **15**) визначити температуру пожежі.

7. Розрахувати висоту нейтральної зони в модельному приміщенні з урахуванням часу розвитку та умов газообміну, формули (11.7; 11.8).

Проведення дослід

1. Виставити задані викладачем розміри приточно-витяжних отворів. Осередок пожежі розміщувати не ближче 8-10 см від скла для запобігання його розтріскування.

2. Запалити осередок пожежі в модельному приміщенні. Після того як полум'я охопить основну частину горючої речовини, увімкнути секундомір.

3. Для визначених моментів часу зняти показання з усіх термопар і візуально за допомогою лінійки заміряти висоту нейтральної зони.

4. Дослід повторюють із іншими розмірами приточно-витяжних отворів.

5. Результати заносять в таблицю, будують графіки зміни температури пожежі і висоти нейтральної зони від часу розвитку пожежі.

6. Зробити висновок. У висновках вказують, як залежить температура пожежі і висота нейтральної зони від часу розвитку пожежі та умов газообміну.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1) Пожежа, класифікація пожеж.
- 2) Загальні і окремі явища на пожежі.
- 3) Характеристика зон пожежі.
- 4) Параметри пожежі.
- 5) Періоди розвитку пожежі.
- 6) Температура пожежі, фактори, що її визначають.
- 7) Нейтральна зона, фактори, що її визначають.
- 8) Способи регулювання нейтральної зони.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

При зниженні температури зони горіння до температури погасання $T_{\text{пог}}$ в системі виникає нестійка теплова рівновага, за якої найменше зниження температури призводить до руйнування теплового балансу і переходу рівноваги системи до області низьких температур T_0 . Реакція горіння при цьому припиняється.

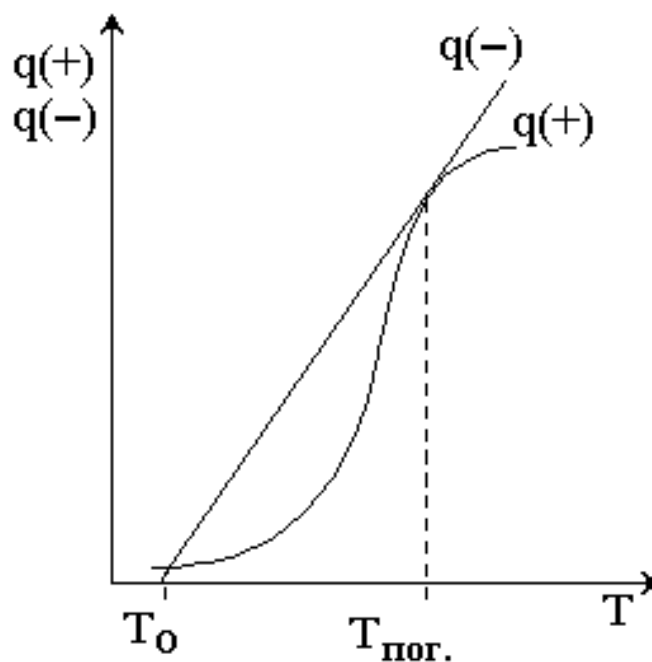


Рис. 12.1 — Графік залежності інтенсивності тепловиділення $q(+)$ і інтенсивності тепловіддачі $q(-)$ від температури системи T

У разі дифузійного горіння газів охолодження самих компонентів горючої суміші практично не має сенсу, оскільки газоповітряні суміші відповідного складу здатні горіти за будь-якої початкової температури. Тому

тепло відводити необхідно безпосередньо від зони горіння. Тоді умовою гасіння є співвідношення:

$$T_{зг} < T_{пог}, \quad (12.1)$$

де $T_{зг}$ – температура в зоні горіння, К;

$T_{пог}$ – температура погасання, К.

Виконати цю умову можна, якщо забезпечити певну інтенсивність тепловідведення із зони горіння. Необхідну інтенсивність тепловідведення із зони горіння можна оцінити виразом:

$$q_{відв} > \sum c_{р_{пгi}} g_{пгi} (T_{гор} - T_{пог}), \quad (12.2)$$

де $c_{р_{пгi}}$ - питома теплоємність продуктів горіння, $\text{кДж} \cdot \text{м}^{-3} \text{К}^{-1}$;

$g_{пгi}$ – об'ємна витрата кожного з компонентів продуктів згорання, що утворюються, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Для більшості вуглеводнів дійсна температура горіння становить приблизно 1500 К. Якщо вважати, що початкова температура горючої системи становила 300 К, то можна вважати, що температура системи зросла на 1200 градусів. На це підвищення температури витрачається приблизно 60% нижчої теплоти згорання Q_H' (з урахуванням тепловтрат у навколишнє середовище). Температура погасання більшості вуглеводнів становить приблизно 1200-1300 К, таким чином для припинення горіння методом охолодження зони горіння потрібно знизити температуру полум'я приблизно на 200°C або на $(200/1200) 100\% = 17\%$. Таким чином, для того, щоб припинити горіння, від зони реакції потрібно відвести:

$$q_{відв} = 0,17 \cdot 0,6 \cdot Q_H' \approx 0,1 \cdot Q_H'. \quad (12.3)$$

Однак охолодити безпосередньо зону горіння, яка являє собою тонкий рухливий шар газу, важко. Тому на пожежі використовують інший метод гасіння – охолодження поверхні конденсованої речовини, що горить, нижче критичної температури.

При дифузійному горінні горючої рідини для припинення горіння необхідно відвести тепло, що підводиться до поверхні випромінюванням, а також охолодити поверхневий шар до температури, яка менше температури спалаху $t_{сп}$. При цьому інтенсивність надходження горючих парів в зону реакції горіння різко знижується, концентрація зменшується менше, ніж ϕ_n , і горіння припиняється.

Для припинення гомогенного дифузійного горіння твердих горючих матеріалів, враховуючи, що основна маса газоподібних горючих речовин утворюється в результаті піролізу, умовою припинення їх утворення є зниження температури поверхневого шару ТГМ до температури, яка менше, ніж температура початку піролізу $t_{пір}$:

Тепло, яке поглинається вогнегасною речовиною, $Q_{погл}$ витрачається на її нагрівання і фазовий перехід, тому кількість поглиненої енергії становить:

$$Q_{погл} \approx Q_{нагр\ 1} + Q_{ф.п} + Q_{нагр\ 2}, \text{ кДж}, \quad (12.4)$$

де $Q_{нагр.1}$ – теплота нагріву вогнегасної речовини від початкової температури до температури фазового переходу;

$Q_{ф.п}$ – теплота фазового переходу (сублімації або випаровування);

$Q_{нагр.2}$ – теплота нагріву пари, що утворилася при фазовому переході вогнегасної речовини, від температури фазового переходу до температури зони горіння.

Найбільш поширеним охолоджуючим засобом є вода. Потрапляючи в зону горіння або на поверхню горючої речовини, вода віднімає велику

кількість тепла за рахунок власного нагріву і часткового випаровування. При цьому пара, що утворюється, розбавляє реагуючі речовини і витісняє повітря із осередку пожежі. Крім того, розтікаючись по поверхні матеріалу, вода ізолює поверхню від випромінювання та перешкоджає виходу горючих газів.

Факторами, що зумовлюють **переваги води** як вогнегасного засобу, є:

- екологічна чистота;
- доступність і дешевизна;
- простота зберігання і застосування;
- легкість транспортування і доставки в зону горіння;
- термічна стійкість в значному діапазоні температур;
- здатність поглинати теплове випромінювання;
- адсорбційна здатність, осадження диму.

До **негативних властивостей води** можна віднести такі, як:

- порівняно висока реакційна здатність води, що унеможлиблює її використання для гасіння речовин, з якими вода реагує, або для гасіння металів, температура горіння яких вище за температуру дисоціації води;
- електропровідність води, що обмежує її використання для гасіння електроустановок під напругою;
- порівняно мала в'язкість води, через що вода швидко стікає з поверхонь, що горять;
- високий коефіцієнт поверхневого натягу, що ускладнює проникнення води углиб матеріалу;
- мала питома площа контакту компактних струменів з факелом полум'я, що знижує ефективність охолодження зони горіння;
- висока температура замерзання, що ускладнює використання води за від'ємних температур;
- вода має більшу густину, ніж більшість горючих рідин (нафтопродуктів), що обумовлює занурення води під поверхню горючої рідини.

Вогнегасна ефективність води суттєво залежить від способу її подачі в

осередок пожежі (суцільним або розпиленим струменем).

Питому кількість енергії, що поглинається 1 кг води при подачі в зону горіння, $q_{\text{погл}}$ можна оцінити як:

$$q_{\text{погл}} = q_{\text{наг}}^{\text{рід}} + \Delta H_{\text{вип.}} + q_{\text{наг}}^{\text{пар}} = \\ = c_{\text{р}}^{\text{рід}}(t_{\text{кип}} - t_0) + \Delta H_{\text{вип.}} + c_{\text{р}}^{\text{пар}}(t_{\text{гор}} - t_{\text{кип}}), \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}, \quad (12.5)$$

де $q_{\text{наг}}^{\text{рід}}$ – питома кількість тепла, що витрачається на нагрів 1 кг води від початкової температури до температури кипіння, $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$;

$q_{\text{наг}}^{\text{пар}}$ – питома кількість тепла, що витрачається на нагрів 1 кг пари від температури кипіння до температури горіння, $\text{кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$;

$c_{\text{р}}^{\text{рід}}$ – теплоємність води, $4,19 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ К}^{-1}$;

$c_{\text{р}}^{\text{пар}}$ – теплоємність пари води, $1,9 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ К}^{-1}$;

$\Delta H_{\text{ф.п.}}$ - теплота пароутворення води, $2260 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ К}^{-1}$.

Якщо прийняти початкову температуру води 20°C , а температуру полум'я 1200°C , то кількість тепла, що теоретично поглинається 1 кг або 1 літром води, дорівнює:

$$q_{\text{погл}} = 4,2 \cdot (100 - 20) + 2260 + 1,9 \cdot (1200 - 100) = 4465 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

На практиці в зону реакції горіння попадає не більше за 80% води, нагрівається до температури кипіння біля 90%, переходить в пару не більше за 75%, а в зоні горіння залишається і нагрівається до температури погасання біля 75% пари. Тоді питома кількість енергії, що поглинається водою, оцінюється як:

$$q_{\text{погл}} = 0,7c_{\text{р}}^{\text{рід}}(t_{\text{кип}} - t_0) + 0,55\Delta H_{\text{вип.}} + 0,4c_{\text{р}}^{\text{пар}}(t_{\text{гор}} - t_{\text{кип}}), \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}. \quad (12.6)$$

Гасіння відбудеться за умови:

$$Q_{\text{погл}} \geq Q_{\text{відв}}$$

Для визначення показників роботи підрозділів при гасінні пожежі, правильності вибору вирішального напрямку, вибору вогнегасного засобу, прийомів і способів його подачі використовують основні параметри процесу гасіння пожежі. Такими показниками є час гасіння, вогнегасна ефективність та інтенсивність подачі вогнегасної речовини, питома витрата та загальна витрата вогнегасної речовини. Всі параметри пожежогасіння взаємопов'язані між собою.

Час гасіння $\tau_{\text{гас}}$ – час від початку подачі вогнегасної речовини до припинення горіння.

Вогнегасна ефективність E – величина, обернена до вогнегасної концентрації $\Phi_{\text{вогн}}$, найменшої концентрації вогнегасної речовини, за якої припиняється процес горіння.

$$E = \frac{1}{\Phi_{\text{вогн}}}$$

Чим менша вогнегасна концентрації речовини, тим більша її ефективність. Чим менша вогнегасна ефективність засобу, тим більший час гасіння та загальна витрата речовини.

Загальна кількість вогнегасної речовини m – кількість вогнегасного засобу, що подається за час гасіння пожежі на загальну площу пожежі або в об'єм приміщення, [л], [м³], [кг].

Інтенсивність подачі I – кількість вогнегасного засобу, що подається в одиницю часу на одиницю розрахункового параметра пожежі (фронт, площі пожежі або об'єму приміщення, в якому відбувається пожежа). Виходячи з цього, розрізняють лінійну інтенсивність подачі [л·м⁻¹·с⁻¹],

поверхневу $[\text{л}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}]$ і об'ємну $[\text{л}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{с}^{-1}]$.

$$J = \frac{m}{\Pi_{\text{пож}} \tau_{\text{гас}}},$$

де m – загальна кількість вогнегасної речовини;

$\Pi_{\text{пож}}$ - величина параметра пожежі, (периметр Π , [м], площа $S_{\text{пож}}$, $[\text{м}^2]$, об'єм приміщення $V_{\text{прим}}$, $[\text{м}^3]$);

τ - час проведення досліду або гасіння пожежі, [хв.], [с].

Загальна витрата G – кількість вогнегасної речовини, що було витрачено під час гасіння пожежі на одиницю розрахункового параметра пожежі.

$$G = \frac{m}{\Pi_{\text{пож}}} [\text{л}\cdot\text{м}^{-2}] \text{ або } [\text{л}\cdot\text{м}^{-3}].$$

Питома витрата g – кількість вогнегасного засобу, що витрачається в одиницю часу на гасіння розрахункового параметра пожежі.

$$g = \frac{m}{\tau_{\text{гас}}}, [\text{л}\cdot\text{с}^{-1}] \text{ або } [\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}].$$

З цих формул можна отримати наступні співвідношення:

$$\begin{array}{ccc} J = \frac{G}{\tau} & \text{або} & J = \frac{g}{\Pi_{\text{пож}}} \\ G = J \cdot \tau_{\text{гас}} & \text{або} & g = J \cdot \Pi_{\text{пож}} \end{array}$$

Витрата вогнегасного засобу залежить від часу гасіння і інтенсивності його подачі. При малій інтенсивності подачі час гасіння збільшується, при

зростанні інтенсивності подачі – час гасіння зменшується. Існує **критична інтенсивність подачі**, за якої гасіння не буде досягнуто ніколи (час гасіння наближається до нескінченності).

Типову залежність між даними параметрами пожежогасіння для будь-яких вогнегасних речовин можна представити у виді графіків:

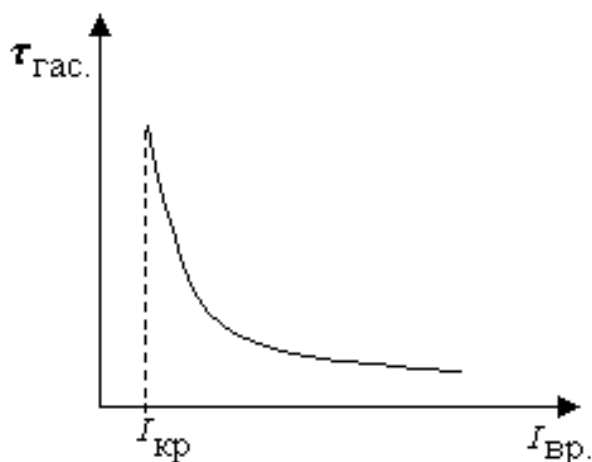


Рис. 13.2 — Залежність часу гасіння від інтенсивності подачі вогнегасної речовини

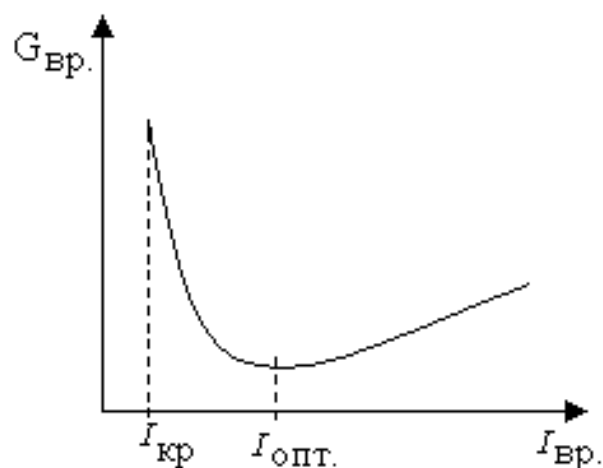


Рис. 13.3 — Залежність витрати вогнегасної речовини від інтенсивності подачі

Для різних видів вогнегасних засобів характер зміни питомої витрати від інтенсивності подачі зберігає подібну залежність. Це дозволяє говорити про існування **оптимального часу** і **оптимальної інтенсивності подачі** вогнегасного засобу для гасіння пожежі, при яких витрати вогнегасної речовини будуть мінімальними.

Інтенсивність подачі вогнегасного засобу може визначатися або при теоретичному аналізі умов припинення горіння, або дослідним шляхом і розрахунком або при аналізі загашених пожеж. Інтенсивність подачі вогнегасного засобу, яка отримана при аналізі теоретичних умов припинення горіння, називається **теоретичною**. На основі вивчення загашених пожеж отримані узагальненні значення інтенсивності подачі вогнегасної речовини, які зведені в таблиці нормативних документів і довідників [11]. Такі

інтенсивності прийнято називати *нормативною інтенсивністю подачі* вогнегасної речовини.

Питома теоретична витрата вогнегасного засобу для припинення горіння становить:

$$g_{\text{теор}} = \frac{Q_{\text{відв}}}{Q_{\text{погл}}} \quad (12.7).$$

Якщо охолоджується зона горіння, то з урахуванням формули (12.3), питома витрата води дорівнює:

$$g_{\text{теор}} = \frac{0,1Q_{\text{н}}'}{Q_{\text{погл}}}, \text{ кг} \cdot \text{кг}^{-1}. \quad (12.8)$$

З урахуванням масової швидкості вигорання горючої речовини теоретично необхідну інтенсивність подачі охолоджуючої вогнегасної речовини на гасіння можна розрахувати як:

$$I_{\text{теор.}} = \frac{v_{\text{м}} K_{\text{п}} g_{\text{теор}}}{60}, \text{ л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \quad (12.9)$$

де $v_{\text{м}}$ - масова швидкість вигорання речовини, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1}$;

$g_{\text{теор}}$ - питома теоретична витрата води на гасіння, $\text{л} \cdot \text{кг}^{-1}$;

$K_{\text{п}}$ - коефіцієнт поверхні горіння (відношення площі поверхні, що горить, до площі пожежі).

Але реально такою незначною кількістю води припинити горіння практично неможливо. Фактично для гасіння пожежі подається значно більше води.

Відношення теоретичної інтенсивності подачі вогнегасного засобу до фактичної інтенсивності називається *коефіцієнтом використання*

вогнегасного засобу:

$$K_{\text{вик.}} = \frac{I_{\text{теор.}}}{I_{\text{факт.}}} . \quad (12.10)$$

Коефіцієнт використання води на пожежі при подачі її в осередок горіння компактними струменями не перевищує 10 %, а в деяких випадках становить 2 %.

Для підвищення вогнегасної ефективності води використовують два основні *методи*:

- зміна фізичних характеристик водяних струменів;
- хімічна модифікація властивостей водних розчинів.

Тому можна запропонувати наступні *способи підвищення вогнегасної ефективності води*:

1. Для гасіння використовувати *розпилені і дрібнорозпилені струмені*. При цьому збільшення дисперсності потоку призведе до збільшення поверхні контакту води з нагрітими газами і різкого збільшення інтенсивності випаровування.

2. Для зниження сил поверхневого натягу і підвищення здатності води проникати в пори горючого матеріалу використовують поверхово активні речовини (ПАР) - *змочувачі*.

Добавка 0,5-2% ПАР дозволяє значно знизити поверхневий натяг води (з $72,8 \cdot 10^{-5}$ до $36,4 \cdot 10^{-5}$ Дж·м⁻²). Застосування змочувачів дозволяє вдвічі підвищити ефективність використання води і знизити час гасіння пожежі.

3. Для запобігання стіканню води з вертикальних поверхонь і збільшення дальності польоту компактних струменів додають *згущувачі* із органічних сполук типу карбоксиметилцелюлоза, поліакрилова кислота, поліоксиетилен, полівініловий спирт, метилцелюлоза, сульфований поліфенілтолуол тощо.

4. Для пониження температури замерзання у воду *додають антифриз* (деякі мінеральні солі, гліколі).

5. Для досягнення ефекту хімічного гальмування реакції горіння можна

використати *добавки галоїдвміщуючих солей*, наприклад *NaCl*. У розпиленому стані вода випаровується, і сіль утворює дрібнодисперсний вогнегасний порошок.

6. Для гасіння целюлозовмісних ТГМ вискоєфективними є водні розчини *антипіренів*, які, потрапляючи на поверхню ТГМ, взаємодіють з матеріалом, змінюючи хімічний склад газоподібних продуктів розкладання.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ:

Мета роботи: Дослідити механізм припинення горіння охолодженням, визначити способи підвищення вогнегасної ефективності води.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із резервуара, що герметично закривається, в який поміщають воду або воду із змочувачем.

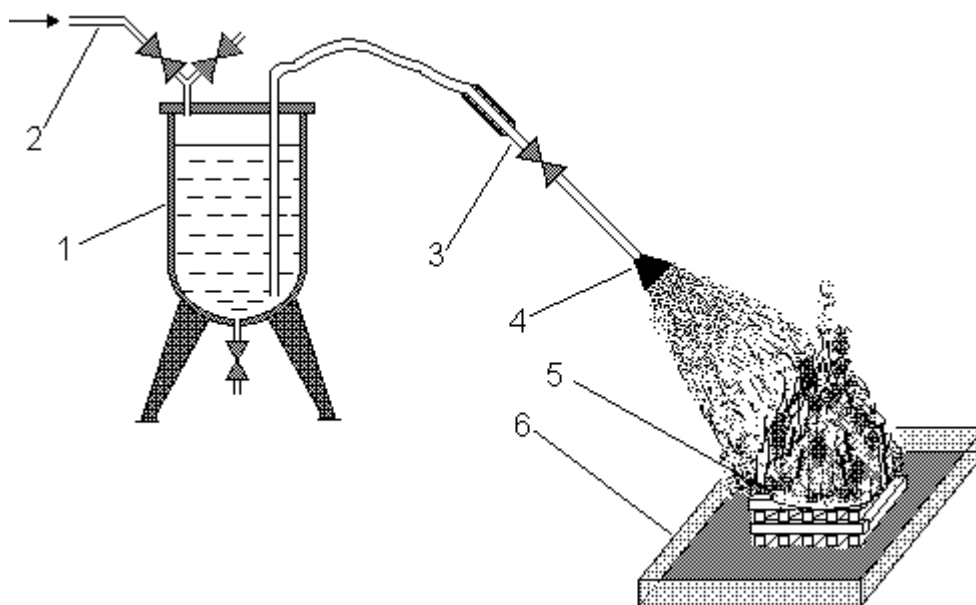


Рис. 11.1 — Схема лабораторної установки для дослідження

механізму припинення горіння охолодженням

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1) ємність із вогнегасною речовиною; | 4)- змінна насадка; |
| 2) магістраль подачі повітря; | 5) осередок пожежі; |
| 3) магістраль подачі води; | 6) піддон |

Подаючи в резервуар стиснуте повітря від компресора витискають воду в магістраль подачі води. Вода подається через змінну насадку, за допомогою якої формують компактний або розпилений струмінь. Модельний осередок пожежі розміщують на піддоні, в якому збирається відпрацьована вода.

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

1. Розрахувати теоретичну інтенсивність подачі води.
 - 1.1. Із довідника керівника гасіння пожежі [11] виписати для заданої горючої речовини значення масової швидкості вигорання v_m , нижчої теплоти згорання Q'_n , нормативної інтенсивності подачі води $I_{норм}$, температури горіння $t_{гор}$. Викладач визначає коефіцієнт поверхні модельного осередку пожежі $K_{п}$.
 - 1.2. Розрахувати питому теоретичну охолоджуючу здатність води з урахуванням втрат за формулою (12.6).
 - 1.3. Розрахувати питому теоретичну витрату води на гасіння за формулою (12.8).
 - 1.4. Розрахувати теоретичну інтенсивність подачі води за формулою (12.9).
2. Скласти три осередки пожежі класу А, визначити площу пожежі для кожного із осередків.
3. Відміряти і залити в ємність воду. На магістралі подачі води встановити змінну насадку для формування компактного струменя.

Проведення дослідів

1. Розмістити осередок пожежі на піддоні і розпалити його. Після того, як полум'я охопить всю поверхню горючої речовини, подати стиснуте повітря в ємність із вогнегасною речовиною.

2. Відкрити кран подачі води і здійснити гасіння пожежі, не залишаючи осередків тління. Час гасіння фіксувати за допомогою секундоміру.

3. Після припинення горіння вимкнути секундомір, закрити кран подачі води, перекрити кран подачі стиснутого повітря і відкрити кран у верхній частині ємності для зменшення надлишкового тиску.

4. Через кран у нижній частині ємності злити воду, що залишилась, в мірну ємність і визначити кількість води, яка була витрачена на гасіння.

5. Повторити дослід із насадкою для розпиленого струменя та використовуючи в якості вогнегасної речовини 2% розчин піноутворювача.

Результати занести в таблицю.

Таблиця результатів дослідів

| № | Вогнегасна речовина | $S_{\text{пож}}$, м ² | τ , сек | V, л | G, л·м ⁻² | g, л·с ⁻¹ | I _{факт} , л·м ⁻² ·с ⁻¹ | $K_{\text{вик}} = \frac{I_{\text{факт}}}{I_{\text{норм}}}$ |
|---|---------------------|-----------------------------------|--------------|------|----------------------|----------------------|--|--|
| | | | | | | | | |

У висновку показати вплив різних способів подачі води на ефективність гасіння та шляхи збільшення вогнегасної здатності води.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Механізм припинення горіння охолодженням.
2. Параметри припинення горіння шляхом охолодження зони горіння і поверхні горючої речовини.
3. Характеристики охолоджуючих вогнегасних засобів.
4. Особливості води як охолоджуючого вогнегасного засобу.
5. Шляхи підвищення вогнегасної здатності води.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №13

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ ІЗОЛЯЦІЄЮ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Одним із методів припинення горіння є зниження тепловиділення в зоні реакції.

Зниження тепловиділення можна досягти за рахунок зменшення концентрацій компонентів горючої суміші в зоні горіння. Одним із способів досягнення цього є ізоляція горючої речовини або окислювача від зони реакції. Принципово, для припинення горіння достатньо знизити швидкість надходження одного з компонентів до рівня, при якому тепловиділення, внаслідок хімічної реакції, стане менше тепловіддачі в навколишнє середовище.

У практиці пожежогасіння для припинення горіння використовуються наступні *види ізолюючих вогнегасних речовин*:

- рідкі (піна, в деяких випадках вода);
- газоподібні (продукти вибуху при гасінні газонафтових фонтанів);
- тверді листові матеріали (азбоцементні листи, повстяні й інші покривала з негорючих тканин);
- тверді сипучі матеріали (пісок, вогнегасні порошки спеціального призначення).

Найчастіше в практиці пожежогасіння використовують повітряно-механічні піни.

Піні властива агрегативна і термодинамічна нестійкість, що призводить до її руйнування. Переважно це пов'язано із руйнівною дією сил поверхневого натягу. Тому однією з умов стійкого піноутворення є зменшення поверхневого натягу рідкої фази за рахунок додавання поверхнево-активних речовин (ПАР).

Зазвичай, молекули ПАР складаються з довгої неполярної **(а)** (гідрофобної, нерозчинної у воді) і короткої полярної **(б)** (гідрофільної, розчинної у воді) частини (рис 13.1). Полярна частина обумовлює розчинність ПАР у воді, неполярна частина - розташовується в повітрі або в іншій неполярній речовині, що межує з водним розчином ПАР. Таким чином, при розчиненні молекули ПАР адсорбуються на поверхні води з утворенням мономолекулярного шару, при цьому гідрофобна частина молекули розташовується над поверхнею води, гідрофільна - розташовується у воді і забезпечує зниження її поверхневого натягу. Концентрація ПАР у поверхневому шарі значно більше, ніж в об'ємі.

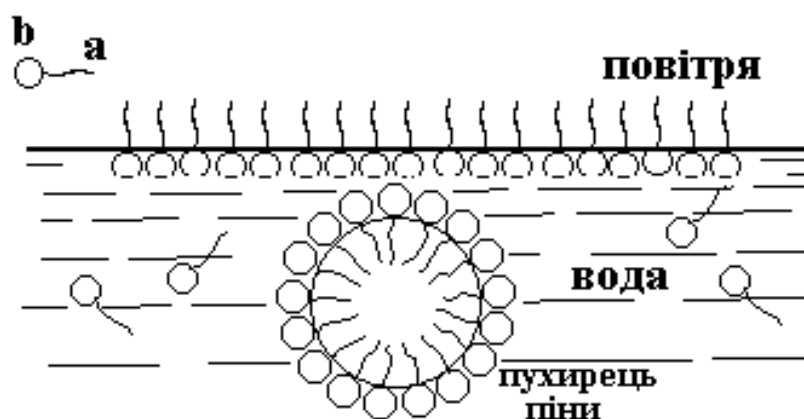


Рис. 13.1 — Структура мономолекулярного шару ПАР на межі повітря-вода

При пропусканні повітря через розчин ПАР на поверхні бульбашки також утворюється адсорбційний шар: вуглеводнева частина молекули ПАР спрямована всередину повітряного пухирця, а гідрофільна група - у бік водної фази. Повітряний пухирець, проходячи через поверхню розчину, оточується подвійним шаром. Таким чином, плівка пухирця являє собою два адсорбційних шари, між якими знаходиться водний розчин.

Поверхнево-активні речовини хоч і утворюють сильні піни, але стійкість їх не відповідає вимогам пожежної охорони. З метою підвищення

стійкості пін, в них вводять стабілізуючі добавки. Складні розчини, які містять, крім ПАР, стабілізатори, загущувачі й інші спеціальні добавки, називаються *піноутворювачами (ПУ)*.

Піна – це колоїдна система, що складається з газоподібної дисперсної фази та рідкого дисперсійного середовища.

Властивості піни залежать не тільки від якості піноутворювача, але і від способу її утворення.

До основних вогнегасних властивостей піни належать:

- кратність;
- дисперсність;
- стійкість;
- ізолююча здатність;
- здатність розтікатися по поверхні горючої речовини.

На ці параметри піни впливають природа горючого матеріалу і піноутворювача, властивості води, способи отримання і подачі піни, умови протікання пожежі.

Кратність піни K - відношення об'єму піни до об'єму розчину, з якого її отримано:

$$K = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{рід}}},$$

де $V_{\text{п}}$ - об'єм піни;

$V_{\text{рід}}$ – об'єм розчину, з якого утворено піну.

В залежності від способу отримання, кратність піни, утвореної з одного і того ж розчину, може відрізнятися на кілька порядків. Розрізняють піни низької кратності (до 20), середньої кратності (20-200) або високократні (вище за 200).

Піна однієї і тієї ж кратності може мати різну структуру, яка в свою

чергу залежить від дисперсності піни і товщини плівок рідини між пухирцями піни.

Дисперсність піни D - величина обернено пропорційна середньому діаметру пухирців $d_{\text{сер}}$, яка багато в чому визначає якість піни:

$$D = 1/d_{\text{сер}}.$$

Чим вище дисперсність, тим краще піна, тим більше її стійкість і вище вогнегасна ефективність. Дисперсність піни залежить від умов її отримання.

Стійкість піни S – здатність піни зберігати первинні властивості, і характеризує опір піни руйнуванню. Стійкість характеризується часом напіврозпаду піни, тобто часом, протягом якого об'єм піни зменшиться наполовину. Стійкість - величина, обернена до інтенсивності руйнування:

$$S = \frac{1}{I_{\text{руйн}}} , \quad \text{або} \quad S = \frac{V_{\text{п}} \cdot \Delta\tau}{V_{\text{руйн}}} ,$$

де $V_{\text{п}}$ - початковий об'єм піни;

$I_{\text{руйн}}$ – інтенсивність руйнування;

$V_{\text{руйн}}$ - об'єм піни, що руйнується за встановлений проміжок часу $\Delta\tau$.

Стійкість піни залежить від її кратності, виду піноутворювача, його концентрації в розчині і структури піни (для звичайних ПУ стійкість піни максимальна при кратності 80-150). Фторовані ПУ нового покоління утворюють низьократну піну, яка майже не руйнується на поверхні вуглеводнів і погано руйнується на поверхні водорозчинних рідин.

Ізолююча здатність піни – здатність піни перешкоджати випаровуванню горючої рідини. Ізолююча здатність виражається часом, протягом якого пара рідини проходить крізь шар піни певної товщини і утворює над цим шаром пароповітряну суміш, що може запалитися від

джерела запалювання. Ізолююча здатність також може виражатися товщиною шару піни, над поверхнею якого не утворюється пароповітряна суміш, що може запалитися від джерела запалювання. Ізолююча здатність піни залежить від її фізико-хімічних властивостей і структури, від товщини її шару, а також від природи горючої рідини і температури поверхневого шару горючої речовини. Надійного гасіння можна досягти при подачі на поверхню горючої речовини такого шару піни, над яким концентрація горючих парів не буде перевищувати НКМПП.

В'язкість піни – здатність піни розтікатися по поверхні речовини. В'язкість піни залежить від її структури і властивостей ПУ згущувача й інших добавок.

В'язкість і вогнегасна здатність піни зростають із збільшенням вмісту згущувача, однак різке збільшення в'язкості піноутворюючих розчинів призводить до погіршення гідравлічних параметрів розпилюючої форсунки, параметрів піноутворення і загалом до зростання енерговитрат. Тому існує оптимальна концентрація згущувача в розчині (0,1-0,5%).

Вогнегасні піни найбільш широко використовуються при гасінні пожеж класу В. Вогнегасна здатність піни обумовлена передусім її здатністю перешкоджати надходженню в зону горіння горючої пари за рахунок того, що коефіцієнт дифузії парів через плівки піни значно менший, ніж у повітрі. Наприклад, швидкість випаровування бензину під шаром піни товщиною 5 см зменшується в 30-40 разів. При цьому одночасно відбувається ізоляція горючих парів і охолодження поверхні рідини. Крім того, піна перешкоджає передачі тепла від факелу полум'я до частини поверхні горючої речовини, яка покрита піною. Однак численними дослідженнями доведено, що вирішальним (домінуючим) чинником є ізолююча дія, тому що в більшості випадків гасіння полум'я настає за температури горючої рідини більш високої, ніж температура спалаху.

Разом з тим, особливо при гасінні важкокиплячих нафтопродуктів, при горінні яких утворюється гомотермічний прогрітий шар, істотне значення

має охолодження поверхні горючої рідини водою, яка міститься в піні. При цьому зменшується швидкість випаровування рідини, зменшується концентрація горючої речовини в зоні горіння, інтенсивність хімічної реакції, швидкість тепловиділення і, як кінцевий результат, - температура в зоні горіння зменшується до температури погасання. Найбільшу охолоджуючу дію має низькократна піна з високим вмістом води, найменшу - легка високократна піна із малим вмістом води.

При гасінні пожеж витрата вогнегасного засобу G повинна бути мінімальною, час гасіння τ - не більше допустимого, а інтенсивність подачі I - оптимальною.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Дослідити механізм припинення горіння ізоляцією, визначити вплив інтенсивності подачі повітряно-механічної піни на ефективність гасіння.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із резервуара, в який заливають розчин піноутворювача.

На кришці резервуара розташовані кран подачі стиснутого повітря і кран для зменшення надлишкового тиску після проведення досліду. Стиснуте повітря через сифонну систему витісняє розчин піноутворювача із резервуара. Розчин піноутворювача із резервуару і стиснуте повітря подають у піногенератор, де утворюється піна. В нижній частині резервуара розташовано кран для зливання розчину піноутворювача, який залишився після проведення досліду. Регулюючи подачу стиснутого повітря в резервуар і піногенератор, змінюють інтенсивність подачі і кратність піни.

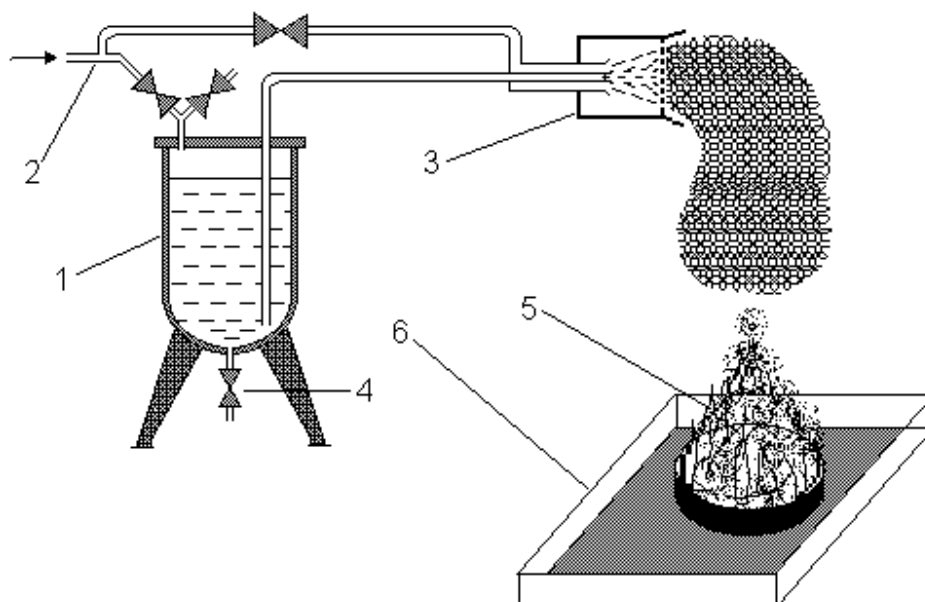


Рис. 13.4 — Схема лабораторної установки для дослідження механізму припинення горіння ізоляцією

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1) ємність із вогнегасною речовиною; | 4) зливний кран; |
| 2) магістраль подачі повітря; | 5) осередок пожежі; |
| 3) піногенератор; | 6) піддон |

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

1. Готують розчин піноутворювача у відповідній концентрації і заливають в ємність для вогнегасної речовини.
2. В ємність, яка імітує осередок пожежі, наливають на 3-4 см води. Вільний борт повинен бути достатньої висоти (не менше 5 см), щоб вмістити піну для припинення горіння (осередок пожежі слід розміщувати в лотку).
3. Визначають площу горіння.
4. Перевіряють працездатність системи.
5. Подаючи стиснуте повітря, домагаються стійкого піноутворення, після чого частину піни набирають в ємність відомого об'єму для визначення стійкості і кратності.

Стійкість піни визначають за часом напіврозпаду, час за який об'єм піни зменшується наполовину.

Кратність піни визначають за співвідношенням об'єму піни до об'єму розчину піноутворювача, з якого піну одержано.

6. Після перевірки працездатності системи зливають розчин піноутворювача в мірну ємність, в разі необхідності доливають, і заповнюють ємність для вогнегасної речовини визначеним об'ємом розчину піноутворювача.

На випадок нештатної ситуації готують допоміжні засоби пожежогасіння.

Проведення дослідю

1. В ємність, яка імітує осередок пожежі, наливають 40-50 мл горючої рідини і запалюють.

2. Вмикають подачу стиснутого повітря і здійснюють гасіння піною осередку горіння. Відлік часу гасіння починають з моменту подачі піни до моменту припинення горіння на всій площі осередку пожежі.

3. Після припинення горіння вимикають подачу стиснутого повітря, зливають розчин піноутворювача, що залишився, і визначають його витрату. Дослід повторюють, змінюючи інтенсивність подачі піни. Результати заносять до таблиці.

4. Розраховують питому витрату й інтенсивність подачі вогнегасної речовини.

Результати занести в таблицю.

Таблиця результатів дослідю

| № | Вогнегасна речовина | $S_{\text{пож}}$ м^2 | τ , с | V, л | g, $\text{л} \cdot \text{с}^{-1}$ | G, $\text{л} \cdot \text{м}^{-2}$ | I факт., $\text{л} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ | K вик. |
|----|---------------------|----------------------------------|---------------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------|
| 1. | | | | | | | | |

5. За результатами дослідів будують графік залежності часу гасіння від інтенсивності подачі піни і графік залежності витрати розчину піноутворювача від інтенсивності подачі повітряно-механічної піни.

6. Роблять висновок про фактори, що впливають на ефективність гасіння пожежі повітряно-механічною піною.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1) Класифікація ізолюючих вогнегасних засобів.
- 2) Механізм припинення горіння методом ізоляції.
- 3) Способи утворення вогнегасних пін.
- 4) Параметри вогнегасних пін.
- 5) Процеси, які відбуваються при припиненні горіння повітряно-механічними пінами.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №14

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ МЕТОДОМ РОЗБАВЛЕННЯ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Одним із методів припинення горіння є метод розбавлення зони горіння нейтральними газами. Якщо до суміші із фіксованим співвідношенням горючої речовини й окислювача додавати негорючий компонент, то концентрація компонентів горючої суміші буде зменшуватись. Це призведе до зниження швидкості реакції окислення в зоні горіння:

$$\omega_{\text{xp}} = k \varphi_{\text{гр}}^m \varphi_{\text{ок}}^n \exp\left(-\frac{E_{\text{акт}}}{RT}\right). \quad (14.1)$$

Зниження швидкості хімічної реакції викликає, в свою чергу, зменшення інтенсивності тепловиділення, а, отже, і зниження температури в зоні реакції:

$$q_{\text{ТВ}} = V_{\text{Гс}} Q_{\text{н}} \omega_{\text{xp}}. \quad (14.2)$$

де $V_{\text{Гс}}$ – об'єм горючої системи;

$Q_{\text{н}}$ – теплота згорання;

ω_{xp} – швидкість хімічної реакції.

За критичної концентрації розріджувача температура в зоні горіння може зменшуватися до температури погасання, що призводить до припинення горіння. Ця суміш не займається навіть від потужного джерела запалювання. Крім того, розріджувач можна подавати безпосередньо в горючу речовину. Так, наприклад, при гасінні водорозчинних рідин - кетонів,

спиртів і ефірів - часто використовується метод їх розведення водою до негорючих концентрацій.

Однак, для об'ємного пожежогасіння найчастіше використовуються *газові* інертні розріджувачі - діоксид вуглецю, азот, аргон, водяна пара, а також димові і вихлопні гази.

Якщо розріджувач знаходиться в газоподібному стані, то на протікання реакції горіння, крім концентрації інертного газу, великий вплив мають теплофізичні параметри газової суміші, такі як теплоємність і теплопровідність.

При введенні інертних газів в зону горіння, крім зниження концентрації компонентів горючої суміші, відбуваються також втрата частини тепла на нагрівання цих розріджувачів від початкової температури до температури зони горіння. Кількість енергії, витрачену на нагрів нейтральних газів, можна визначити як:

$$Q_{\text{нагр}} = V_{\text{нг}} \rho_{\text{нг}} c_{p \text{ нг}} (T_{\text{гор}} - T_0), \text{ кДж}, \quad (14.3)$$

де $V_{\text{нг}}$ – об'єм негорючих газів, м^3 ;

$\rho_{\text{нг}}$ – густина негорючих газів, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$;

$c_{p \text{ нг}}$ – масова теплоємність негорючих газів, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$;

$T_{\text{гор}}$ – температура горіння, К;

T_0 – початкова температура, К.

Чим вище теплоємність c_p газів, що вводяться, тим більшу кількість тепла вони можуть “поглинути”, а, отже, тим вище буде їх вогнегасна дія і меншу кількість негорючих газів необхідно вводити для гасіння.

Крім відбору тепла за рахунок теплоємності газу, температура може істотно змінюватися за рахунок зміни коефіцієнта теплопровідності суміші λ . Кількість тепла, що переходить із зони горіння в зону з меншою температурою за рахунок теплопровідності, може бути визначена із рівняння Фур'є:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} . \quad (14.4)$$

Підвищення коефіцієнта теплопровідності призводить до підвищення швидкості тепловідведення із зони реакції горіння. За таким механізмом припинення горіння діє, наприклад, гелій. Однак, збільшення коефіцієнта теплопередачі інтенсифікує і надходження тепла в підготовчу зону фронту полум'я. Це сприяє прогріванню горючої суміші, тому швидкість поширення полум'я і температура зони горіння при цьому підвищуються. З цієї причини вогнегасна дія нейтрального газу знижується.

Комплексним параметром, що характеризує вогнегасну ефективність нейтральних газів, може служити *показник ефективності* N_{ef} , який дорівнює відношенню C_p/λ . Чим вище значення комплексного показника, тим вище вогнегасна ефективність негорючого газу.

Отже, при введенні негорючих газів в зону горіння відбувається одночасно зменшення інтенсивності тепловиділення за рахунок зменшення швидкості хімічної реакції та збільшення інтенсивності тепловіддачі через нагрівання введених газів. При певному розбавленні температура стає меншою $T_{пог}$, а суміш стає негорючою.

При гасінні пожеж методом розбавлення газу-розріджувачі можуть подаватися кількома способами.

1. У повітряну зону - застосовується для флегматизації і припинення горіння в закритих технологічних апаратах і приміщеннях малих і середніх об'ємів. Газ розріджувач змішується з повітрям і конвекційними потоками доставляється в зону реакції горіння.

2. У зону горіння - застосовується для гасіння речовин і матеріалів, що горять на відкритому просторі.

3. У горючу речовину - для зниження інтенсивності горіння речовини і зниження температури горіння при підготовці гасіння іншим методом або

для запобігання запалення продукту, що надходить із технологічної установки.

Не рекомендується застосовувати установки газового пожежогасіння при гасінні волокнистих, сипучих і пористих матеріалів, у яких можливе горіння всередині шару у виді тління, хімічних речовин, здатних окислюватися без доступу повітря, пірофорних матеріалів. Існують обмеження на застосування інертних розріджувачів при гасінні пожеж класу Д. Це пов'язано з температурним режимом горіння металів. Двоокис вуглецю не може бути використаний при гасінні горючих металів, тому що вони взаємодіють з CO_2 з утворенням карбідів. Застосування азоту цією метою також обмежено, тому що при взаємодії з металами, що горять, наприклад, із магнієм, алюмінієм, літієм та іншими, можуть утворюватися їхні нітриди - речовини, спроможні розкладатися з вибухом.

Негорючі гази можуть використовуватися не тільки для припинення горіння, але і для запобігання виникнення горіння в замкнених об'ємах.

Запобігання утворення горючого середовища в газовому просторі за допомогою газів-розріджувачів називається **флегматизацією**.

Флегматизація широко використовується для забезпечення безаварійної роботи технологічного устаткування, а також при пуску та зупиненні апаратів, в яких можуть виникнути вибухонебезпечні концентрації горючих речовин.

Запобігання пожеж і вибухів у виробничому устаткуванні з горючими газами, пилом і горючими рідинами засновано на створенні усередині апаратів або приміщень середовища, що не підтримує горіння.

При введенні в газоповітряну суміш інертних газів область запалення зменшується - нижня концентраційна межа зростає, а верхня знижується. За деякої критичної кількості флегматизатора верхня і нижня межі сходяться, створюючи точку флегматизації, яка відповідає флегматизуючій концентрації (рис. 14.1).

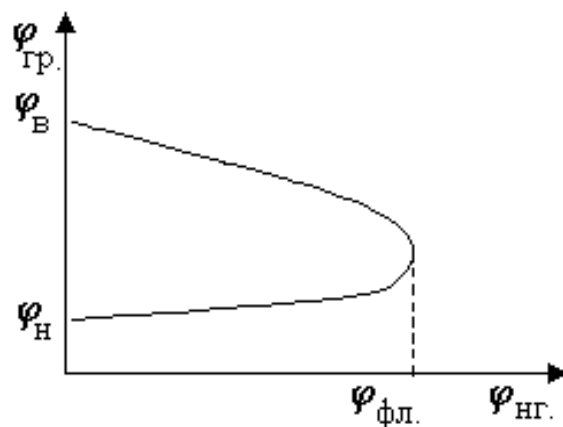


Рис. 14.1 — Залежність концентраційних меж поширення полум'я від концентрації негорючого газу

Флегматизуюча концентрація - найменша концентрація негорючого газу в суміші з горючим і окислювачем, за якої суміш стає нездатною до поширення полум'я при будь-якому співвідношенні горючого й окислювача.

Флегматизуюча концентрація може бути розрахована за наступною формулою:

$$\varphi_{\text{фл.}}^0 = 100 \cdot \frac{h_f' \cdot \Delta H_f^0 + h_{\text{ф}}' + \sum h_j' \cdot m_j}{h_{\text{ф}}'' - 1 + \sum h_j'' \cdot m_j}, \% \quad (14.5)$$

де ΔH_f^0 – теплота утворення горючої речовини;

j – вид атома в молекулу горючої речовини;

m_j – кількість атомів даного виду;

h_j' і h_j'' - коефіцієнти j -го типу для даного флегматизатора.

Виходячи із величини флегматизуючої концентрації, можна розрахувати **мінімальну вибухонебезпечну концентрацію кисню** $\varphi_{\text{МВКК}}^0$:

$$\varphi_{\text{МВКК}}^0 = \frac{100 - \varphi_{\text{фл.}}^0}{4,84}, \% \quad (14.6)$$

Проте, за зміни зовнішніх умов (при збільшенні потужності джерела запалення, підвищенні температури чи тиску в системі) мінімальна вибухонебезпечна концентрація кисню може зменшуватися, тому для забезпечення гарантованих умов пожежовибухобезпеки розраховують *безпечну концентрацію кисню* $\varphi_{\text{без}}^0$ за формулою:

$$\varphi_{\text{без}}^0 = 1,2\varphi_{\text{МВКК}}^0 - 4,2 \text{ , \% } . \quad (14.7)$$

Чим більш ефективним є вогнегасний засіб, тим менше значення мінімальної флегматизуючої концентрації, а отже при більш високому значенні концентрації кисню не може виникнути горіння.

Флегматизація - один із широко застосовуваних методів запобігання виникнення процесу горіння. Значення флегматизуючих концентрацій використовують для розрахунку запасів вогнегасної речовини для протипожежного захисту об'єктів.

Негорючі гази знаходять широке застосування при гасінні пожеж в приміщеннях. При розрахунку параметрів гасіння пожежі з допомогою негорючих газів вирішують дві задачі:

- за допустимим часом гасіння визначають необхідну витрату вогнегасного засобу;
- за витратою негорючих газів визначають час гасіння, тобто час створення вогнегасної концентрації в об'ємі, що захищається.

Вогнегасна концентрація – найменша об'ємна концентрація негорючого газу, достатня для припинення горіння в умовах стандартного експерименту.

Для розрахунку часу гасіння за заданої витрати подачі негорючого газу та з урахуванням витікання негорючого газу з об'єму приміщення через нещільності можна використати наступну формулу:

$$\tau_{\text{гас}} = \frac{V_{\text{прим}}}{g_{\text{нг}}^{\text{под}}} \ln \frac{100}{100 - \varphi_{\text{вогн}}^0}, \text{ с.} \quad (14.8)$$

Визначивши час гасіння, можна розрахувати необхідний об'єм або масу негорючого газу, необхідну для гасіння пожежі в даному приміщенні:

$$V_{\text{нг}} = g_{\text{нг}}^{\text{под}} \cdot \tau_{\text{гас}} = V_{\text{прим}} \ln \frac{100}{100 - \varphi_{\text{вогн}}^0}, \text{ м}^3, \quad (14.9)$$

$$m_{\text{нг}} = V_{\text{прим}} \rho_{\text{нг}} \ln \frac{100}{100 - \varphi_{\text{вогн}}^0}, \text{ кг.} \quad (14.10)$$

Вогнегасна концентрація залежить від природи негорючого газу, виду горючої речовини, умов гасіння, часу розвитку пожежі. Оскільки вогнегасна концентрація завжди менша, ніж флегматизуюча концентрація, то в розрахунках зручніше використовувати саме флегматизуючу концентрацію.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Дослідити механізм припинення горіння негорючими газами, визначити вплив параметрів подачі негорючого газу на ефективність гасіння.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із модельного приміщення в якому у верхній частині розташовано патрубок подачі негорючого газу з краном і вихідною насадкою визначеного діаметра. Патрубок подачі негорючого газу приєднано до балона із негорючим газом. Тиск в системі подачі негорючого газу регулюють за допомогою редуктора.

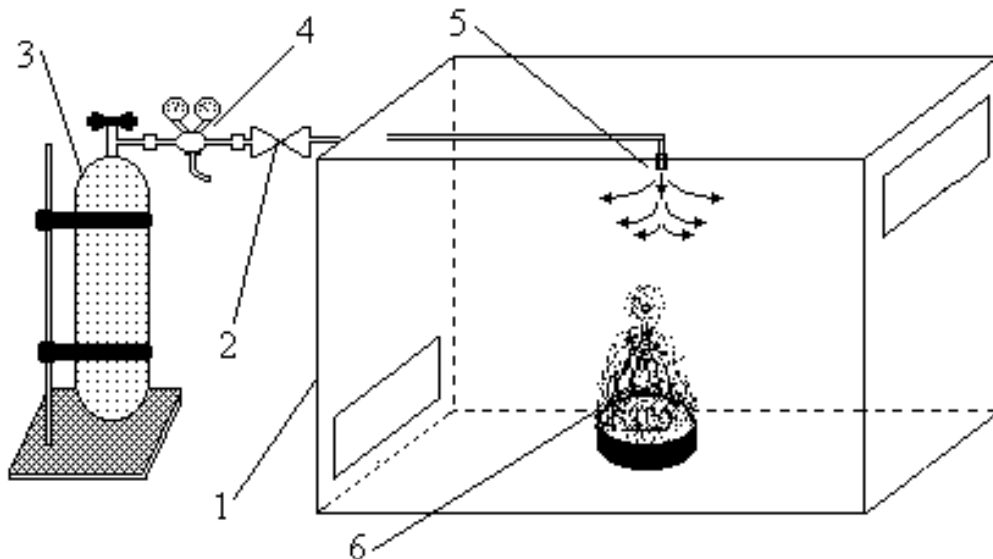


Рис. 14.2 — Схема установки для дослідження механізму припинення горіння флегматизацією.

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1) модельне приміщення; | 4) редуктор; |
| 2) кран подачі негорючого газу; | 5) вихідна насадка; |
| 3) балон із негорючим газом; | 6) осередок пожежі |

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

Виконати розрахунок основних параметрів пожежогасіння з використанням негорючого газу.

1. Розрахувати флегматизуючу концентрацію для заданого флегматизатора за формулою (14.5) (додаток 16) [10]. Величину теплоти утворення горючої речовини ΔH_f^0 виписують із довідника [9] для заданої горючої речовини і заповнюють таблицю:

| Вид атому, j | Число атомів, m _j | Значення коефіцієнтів | |
|--------------|------------------------------|-----------------------|------------------|
| | | h' _j | h'' _j |
| | | | |

2. Розрахувати мінімальну вибухобезпечну концентрацію кисню за формулою (14.6).

3. Розрахувати безпечну концентрацію кисню за формулою (14.7).

4. Визначити об'єм модельного приміщення і розрахувати об'єм флегматизатора, що необхідний для гасіння пожежі в заданому приміщенні за відсутності відкритих отворів і при здійсненні газообміну крізь нещільності за формулою (14.9).

5. Розрахувати питому масову витрату флегматизатора $g_{\text{НГ}}^{\text{м}}$ в залежності від діаметру трубопроводу та тиску в балоні. Для цього визначають діаметр отвору вихідної насадки і розраховують питому газову сталу $R_{\text{ПНГ}}$:

$$R_{\text{ПНГ}} = \frac{R}{\mu_{\text{НГ}}}, \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1};$$

$$g_{\text{НГ}}^{\text{м}} = S_{\text{отв}} \cdot P \cdot \sqrt{\frac{1}{R_{\text{ПНГ}} T} \cdot \frac{2k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}}, \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1},$$

де $\mu_{\text{НГ}}$ – молярна маса негорючого газу, $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$;

k – коефіцієнт адіабати негорючого газу;

$S_{\text{отв}}$ – діаметр вихідного отвору, м^2 ;

P – тиск в системі подачі негорючого газу, Па ;

T – температура, К .

6. Розрахувати густину флегматизатора за даних умов:

$$V_{\mu} = 22,4 \cdot \frac{101,3 \cdot T}{273 \cdot P}, \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1},$$

$$\rho = \frac{\mu_{\text{НГ}}}{V_{\mu}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

7. Розрахувати теоретичний час гасіння:

$$\tau_{\text{гас}} = \frac{V_{\text{нг}} \cdot \rho}{g_{\text{нг}}^m}, \text{ с.}$$

8. Зважують балон із негорючим газом і приєднують до магістралі подачі негорючого газу. Відкривають вентиль балона із негорючим газом і за допомогою редуктора встановлюють потрібний тиск в системі подачі негорючого газу.

Проведення дослідів

1. В ємність, яка імітує осередок горіння, спочатку наливають воду, а зверху 30-40 мл горючої рідини. Осередок горіння поміщають в модельне приміщення і негайно запалюють.

Увага! В разі запізнення із запаленням в модельному приміщенні може утворитись вибухонебезпечна концентрація парів горючої речовини.

2. Закривають всі отвори в модельному приміщенні, відкривають кран подачі негорючого газу і вмикають секундомір.

3. Після припинення горіння вимикають секундомір і фіксують фактичний час гасіння $\tau_{\text{гас}}^{\text{факт}}$.

4. Закривають кран подачі негорючого газу. Від'єднують балон, зважують на технічних терезах із точністю ± 1 г і визначають фактичну масу негорючого газу, яка витрачена на гасіння $m_{\text{нг}}^{\text{факт}}$.

4. Наступні дослідів здійснюють, змінюючи значення тиску в системі подачі негорючого газу. Для повторного проведення дослідів витягують осередок горіння із модельного приміщення, приміщення вентилують, в разі необхідності доливають горючу рідину.

5. По закінченні дослідів розраховують фактичну масову і об'ємну вогнегасну концентрацію негорючого газу в приміщенні за формулами:

$$\varphi'_{\text{факт}} = \frac{m_{\text{нг факт}}}{V_{\text{прим}}}, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3},$$

$$\varphi^0_{\text{факт}} = \varphi'_{\text{факт}} \frac{V_{\mu}}{10\mu_{\text{нг}}}, \%$$

6. Роблять висновок про вплив параметрів подачі негорючого газу на ефективність гасіння пожежі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Механізм припинення горіння негорючими газами.
2. Вогнегасна ефективність флегматизаторів, показник ефективності вогнегасної дії різних флегматизаторів
3. Фактори, що впливають на ефективність флегматизації.
4. Параметри газового пожежогасіння, флегматизуюча концентрація.
5. Переваги та недоліки використання флегматизаторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №15

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ МЕТОДОМ ХІМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ РЕАКЦІЇ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

В процесі горіння вуглеводнів взаємодія між горючою речовиною й окислювачем відбувається за розгалуженим ланцюговим механізмом через стадію утворення *активних центрів полум'я* (АЦП). АЦП – атоми, молекули чи радикали, які мають енергію більшу, ніж енергія активації системи. Розгалуженими є такі реакції, в яких при взаємодії одного активного центра з валентнонасиченою молекулою утворюється два і більше нових активних центрів. Внаслідок протікання таких реакцій, концентрація АЦП різко збільшується, швидкість реакції зростає, відбувається дифузія АЦП у свіжу горючу суміш, що сприяє поширенню горіння. Активні центри при взаємодії один з одним або з нейтральними частками можуть втрачати енергію і ставати неактивними. У цьому випадку відбувається обрив ланцюга і зниження швидкості ланцюгової реакції.

Тому швидкість ланцюгової реакції можна представити виразом:

$$\omega_{л.р.} = \omega_{\text{ініціації}} + \omega_{\text{розгалуження}} - \omega_{\text{обриву (загибелі АЦП)}}$$

Якщо швидкість обриву ланцюга за рахунок загибелі активних центрів стане більшою за швидкість утворення АЦП, сумарна швидкість ланцюгової реакції почне зменшуватися. При зменшенні швидкості реакції знижується інтенсивність тепловиділення, а отже за певних умов температура в зоні горіння стане менше за температуру погасання.

Цього можна досягти, якщо в зону реакції ввести **інгібітори** – речовини, які взаємодіють з активними центрами, і при цьому утворюються неактивні продукти, що мають велику енергію активації.

Інгібувати можна лише такі процеси окислення, в яких концентрації

АЦП розгалужених ланцюгових реакцій значно перевищують рівноважні. Ті процеси горіння, які протікають не за радикальним механізмом, а за механізмом прямого окислення (гетерогенне горіння вуглецю або горіння металів), не інгібіруються.

Кількість інгібіторів, яку необхідно ввести в зону реакції для припинення горіння, дуже мала (близько 2-3%). Отже концентрації компонентів горючої суміші при цьому практично не змінюються, теплофізичні параметри суміші (теплоємність і теплопровідність) також змінюються незначною мірою, тому можна вважати, що інтенсивність тепловіддачі залишається постійною.

З точки зору теплової теорії погасання припинення горіння під дією інгібіруючих вогнегасних засобів відбувається внаслідок різкого зниження інтенсивності тепловиділення за рахунок збільшення енергії активації системи, що призводить до різкого зменшення швидкості реакції горіння.

Інгібіруючі вогнегасні засоби можуть знаходитися в газоподібному або рідкому агрегатному стані (наприклад хладони) та у твердому дисперсному стані (вогнегасні порошки, аерозолеутворюючі вогнегасні склади). Всі вони використовуються для об'ємного пожежогасіння.

Хладони (галони) – сполуки на основі галоїдпохідних насичених вуглеводнів, в яких атоми водню заміщені повністю або частково атомами галоїдів.

Вогнегасна ефективність галоїдвуглеводнів підвищується при заміщенні в них атома водню на атом галогену в наступній послідовності:



Враховуючи дефіцитність і високу вартість йодпохідних, на практиці використовують бромпохідні вуглеводнів. При введенні фтору в молекулу інгібітору підвищується його стабільність, зменшуються горючість, токсичність і корозійна активність хладонів. Найбільш ефективними і зручними для застосування є бром-, фтор- похідні метану й етану. З подібних сполук найбільш

широке застосування знайшли хладони 13B1, 12B1, 114B2. Все більш широко використовуються й нові, альтернативні хладони із меншим озоноруйнівним ефектом і токсичністю, такі як: 22B1, 124B1, 116, 125, 218, 227, СЕА-410, СЕА-614.

Механізм вогнегасної дії хладонів полягає у вилученні із зони реакції активних центрів полум'я за рахунок взаємодії їх з молекулами галоїдвуглеводнів або з радикалами, які утворюються при розкладанні хладонів в зоні горіння.

Механізм інгібування хладонами визначається наступними реакціями:

| | |
|--|---|
| $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2 + \text{H}^* = \text{HBr} + \text{C}_2\text{F}_4\text{Br}^*$ $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}^* + \text{H}^* = \text{HBr} + \text{C}_2\text{F}_4^*$ | Утворення нереакційноздатної молекули HBr та малоактивного радикала |
| $\text{HBr} + \text{H}^* = \text{H}_2 + \text{Br}^*$ $\text{HBr} + \text{OH}^* = \text{H}_2\text{O} + \text{Br}^*$ | Утворення нереакційноздатної молекули та відновлення інгібітору |
| $\text{Br}^* + \text{HO}_2^* = \text{HBr} + \text{O}_2$ | Утворення нереакційноздатних молекул |

Отже, інгібування пов'язане із загибеллю легких і високоактивних радикалів H^* , OH^* і HO_2^* . При цьому утворюються негорючі продукти, а також відбувається заміна первинних АЦП менш активними атомами галоїдів або їх похідними. З однієї молекули хладону утворюється кілька проміжних продуктів, які інтенсивно взаємодіють з АЦП, призводячи до їх загибелі.

При надходженні в горючу систему невеликої кількості хладону КМПП вуглеводнів різко звужуються. Пікові значення вогнегасних концентрацій для більшості хладонів значно нижче (приблизно на порядок), ніж при використанні негорючих газів.

Найбільш ефективно впливають хладони на багаті суміші, а у випадку бідних сумішей помітного впливу не спостерігається. З підвищенням вмісту кисню витрата хладонів різко зростає. Для підвищення вогнегасної ефективності галоїдвуглеводнів необхідно перевести горючу суміш в область багатих сумішей та (або) знизити концентрацію окислювача розбавленням горючої системи

інертним газом. Посилити інгібіруючу дію хладонів можна також шляхом додавання речовин, здатних ефективно взаємодіяти з АЦП, які містять кисень.

Найбільш поширеними інгібіторами горіння є вогнегасні порошки.

Вогнегасні порошки являють собою тонко подрібнені мінеральні солі з різними добавками, які перешкоджають злежуванню і грудкуванню, поліпшують текучість. У вітчизняних вогнегасних порошках для цього переважно використовується діоксид кремнію (аеросил), який вводять в кількості 1,5-2,5%.

Вогнегасні порошки можна розділити на дві основні групи:

- загального призначення, які використовують для гасіння пожеж вуглеводневих горючих, вуглецевих матеріалів і енергоустаткування, тобто для гасіння пожеж класів А, В, С, і Е. Порошки цієї групи мають інгібіруючий домінуючий ефект, їх подають в зону горіння у виді розпиленої вогнегасної хмари;
- спеціального призначення - для гасіння металів і металоорганічних сполук, тобто пожеж класу Д, а також тліючих пожеж підкласу А1. Порошки другої групи здатні плавитись і утворювати ізолюючу плівку, їх подають на поверхню горючого матеріалу.

Вогнегасні порошки мають **ряд переваг**, у порівнянні з традиційними засобами пожежогасіння (водою, піною тощо):

- високу вогнегасну ефективність;
- універсальність - застосовуються для гасіння пожеж всіх класів;
- можливість гасіння пожеж за від'ємних температур;
- не пошкоджують матеріал, що горить.

Разом з тим вогнегасні порошки мають і **недоліки**, основними з яких є схильність до зволоження, злежування і грудкування. При цьому втрачається здатність порошоків транспортуватися по трубопроводах і погіршується утворення вогнегасної хмари. Порошки складно подавати в зону горіння, так, дальність польоту струменя порошку з лафетних стволів 20-25 м.

Вогнегасна дія порошоків обумовлена рядом чинників:

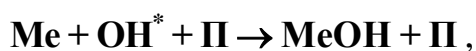
- інгібування хімічних реакцій в полум'ї. Може здійснюватися як в газовій фазі

в результаті розкладання порошку (гомогенне інгібування), так і на поверхні часток порошку (гетерогенне інгібування);

- охолодження зони горіння за рахунок нагрівання і розкладання твердих часток порошку;
- розбавлення зони горіння продуктами розкладання порошку;
- екранування порошком потоку променистої енергії, що надходить від полум'я до поверхні горючої речовини;
- ізоляція поверхні горючої речовини за рахунок утворення на поверхні матеріалу, що горить, плівки, яка перешкоджає надходженню в зону горіння продуктів піролізу або випаровування, а також обмежує доступ кисню повітря до зони горіння при гетерогенному горінні.

Механізм інгібування суттєво залежить від дисперсності вогнегасного порошку. Домінуючим механізмом у процесі гасіння порошками є гомогенне інгібування.

Гомогенне інгібування реакцій горіння відбувається за рахунок взаємодії газоподібних часток або "уламків", які утворюються в зоні горіння при нагріванні, випаровуванні і розкладанні твердих часток порошку, з активними центрами полум'я. Мілкодисперсні частки порошку при проходженні через полум'я встигають нагрітися до температури зони горіння і випаруватися, потім відбувається розкладання часток солей, що випарувалися, до атомів металу і утворення гідроксиду металу за реакцією:

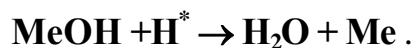
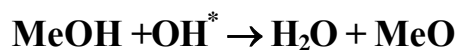


де **Me** – атом металу;

MeOH – гідроксид металу;

П – тверда поверхня.

Інгібування полум'я полягає у видаленні із зони горіння радикалів водню і гідроксиду з утворенням води за реакціями:



Із зменшенням розміру часток зростає вогнегасна ефективність порошку. Зокрема для часток бікарбонату натрію розміром менше за 10 мкм вогнегасна концентрація в 2 рази менше, ніж у часток з розміром 15-30 мкм. Однак для промислових порошоків, що застосовуються на пожежогасінні, розмір часток не може бути менше 30 мкм, оскільки значне збільшення дисперсності порошку приводить до посилення процесу грудкування, погіршення експлуатаційних властивостей порошку, зменшення проникаючої здатності часток й істотно ускладнюється їх доставка до осередку горіння, що знижує їх вогнегасну ефективність. Але частки розміром більше за 30 мкм не встигають розкладатися, й інтенсивність інгібування в газовій фазі мала.

Окрім гомогенного інгібування, можливе й гетерогенне інгібування, яке проходить за рахунок взаємодії активних центрів полум'я (збуджених атомів і радикалів типу H^* , O^* , OH^*) з поверхнею частки порошку. Внаслідок зіткнень активних центрів полум'я з твердою поверхнею часток відводиться значна частина енергії цих збуджених часток. Відбувається інактивація АЦП за механізмом:

АДСОРБЦІЯ → РЕКОМБІНАЦІЯ → ДЕСОРБЦІЯ

Суть цього механізму полягає в тому, що активний радикал на поверхні частки порошку попадає в поле іншого радикалу, який раніше адсорбувався. Стикаючись між собою, вони рекомбінують і утворюють нейтральну молекулу, яка покидає поверхню частки порошку за рахунок десорбції.

Механізм гетерогенного інгібування порошками можна виразити наступною схемою:





де А^* – активна частка;

П – тверда поверхня порошкової частки;

АА – неактивна молекула.

На відміну від летючих інгібіторів, дія яких пов'язана з переважною загибеллю певних активних центрів і може ослаблятися конкуруючими (зокрема, зворотними) реакціями, гетерогенні інгібітори універсальні по відношенню до всіх активних центрів, а процес рекомбінації носить незворотний характер.

Вогнегасна ефективність деяких порошків в ряді випадків вище, ніж бромхладонів. Однак ефективність порошкового пожежогасіння суттєво залежить від способу подачі порошку в осередок горіння.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Мета роботи: Дослідити механізм припинення горіння інгібуванням, визначити особливості використання вогнегасних порошків.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається із ємності з вогнегасним порошком і розпилювача.

Ємність із вогнегасним порошком приєднана до магістралі стиснутого повітря. Проходячи крізь шар порошку, стиснуте повітря захоплює його частки і спрямовує у розпилювач де утворюється вогнегасна хмара.

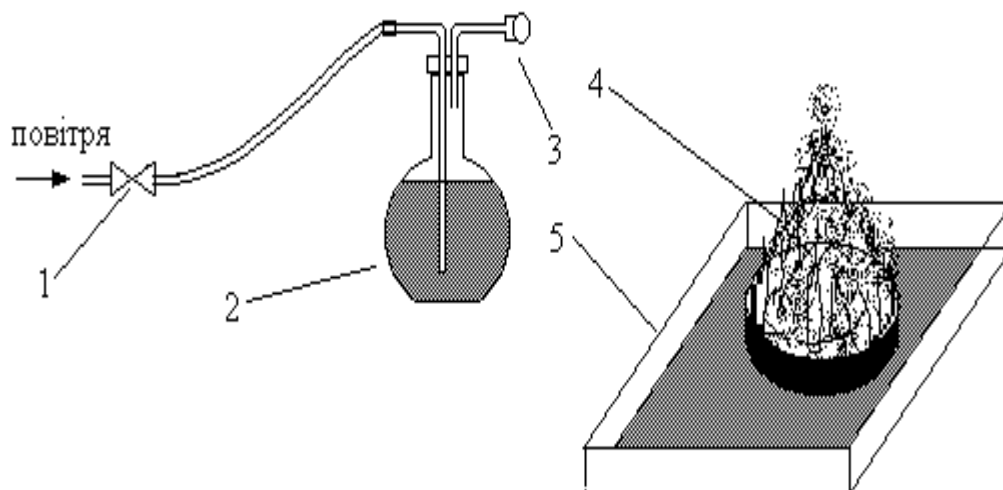


Рис. 15.1 — Схема лабораторної установки для дослідження механізму припинення горіння вогнегасним порошком

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1) кран подачі повітря; | 4) осередок пожежі; |
| 2) ємність із вогнегасним порошком; | 5) лоток |
| 3) розпилювач; | |

Порядок проведення лабораторної роботи

Підготовка до проведення досліду

1. В ємність насипають вогнегасний порошок і зважують на технічних терезах із точністю $\pm 0,5$ г.

2. Ємність із розпилювачем приєднують до магістралі стиснутого повітря.

3. В ємність, яка імітує осередок пожежі, наливають воду, 30-40 мл горючої рідини і розташовують її в лотку.

На випадок нештатної ситуації готують допоміжні засоби пожежогасіння.

Проведення досліду

1. Запалюють ємність із горючою рідиною.
2. Вмикають подачу стиснутого повітря і здійснюють гасіння,

намагаючись створити порошкову хмару над усім осередком пожежі. Відлік часу гасіння здійснюють з моменту подачі порошку до припинення горіння, фіксують $\tau_{\text{гас}}$.

3. Після припинення горіння зважують ємність із вогнегасним порошком, визначають масу порошку, що було витрачено на гасіння.

4. Розрахувати фактичні загальну G та питому g витрати, інтенсивність подачі вогнегасного порошку I на гасіння модельного осередку пожежі, результати заносять в таблицю.

Таблиця результатів дослідів

| № | Вогнегасна речовина | $S_{\text{пож}}, \text{ м}^2$ | $\tau_{\text{гас}}, \text{ с}$ | Маса порошку $m, \text{ г}$ | $g, \text{ г}\cdot\text{с}^{-1}$ | $G, \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}$ | $I_{\text{факт.}}, \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ |
|----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|
| 1. | | | | | | | |

5. Дослід повторюють кілька разів. Роблять висновок про особливості використання вогнегасних порошків для гасіння пожежі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 1) Механізм припинення горіння інгібуванням.
- 2) Гомогенне інгібування.
- 3) Гетерогенне інгібування.
- 4) Особливості використання хладонів, їх переваги та недоліки.
- 5) Особливості використання вогнегасних порошків, їх переваги та недоліки.

ДОДАТКИ

Додаток 1.

Емпірична формула розрахунку концентраційних меж поширення полум'я:

$$\Phi_{н(в)}^0 = \frac{100}{a \cdot \beta + b}, \%,$$

де β - стехіометричний коефіцієнт реакції горіння;

a, b - константи, що визначаються для нижньої і верхньої КМПП:

| | | a | b |
|--------------|------------------|----------|----------|
| НКМПП | | 8,684 | 4,679 |
| ВКМПП | $\beta \leq 7,5$ | 1,550 | 0,560 |
| | $\beta > 7,5$ | 0,768 | 6,554 |

Додаток 2.

Коефіцієнти h_s для визначення концентраційних меж поширення полум'я $\Phi_{H(B)}^0$ (нижньої або верхньої) за хімічною структурою горючої речовини:

$$\Phi_{H(B)}^0 = \frac{100}{\sum_{s=1}^s h_s m_s}, \%$$

де h_s – коефіцієнт відповідно s -го структурного зв'язку;

m_s – число s -их зв'язків в структурній формулі речовини.

| Вид зв'язку | h_s | |
|--------------------|-------|-------|
| | НКМПП | ВКМПП |
| $C - C$ | 3,75 | -0,84 |
| $C = C$ | 11,10 | 0,24 |
| $C - H$ | 4,47 | 1,39 |
| $C - O$ | 0,90 | -1,40 |
| $C = O$ | 3,12 | 1,31 |
| $C - N^3$ | 2,27 | -1,17 |
| $C - Cl$ | 0,71 | 0,71 |
| $O - H$ | 0,52 | 1,25 |
| $N - H$ | 1,90 | 0,69 |
| $N - N$ | 13,84 | 13,84 |
| $C \cdots C$ аром. | 7,36 | 0,89 |

Додаток 3.

Коефіцієнт K_j перерахунку показників експлозиметра на вміст горючої речовини у повітрі

| Горюча речовина | K_j | Горюча речовина | K_j |
|--------------------|----------|-------------------------|---------|
| 1. Бензин Б-70 | 1,5-2,8 | 10. Нефрас С3-80/120 | 1,4-2,8 |
| 2. Ацетон | 0,9-1,8 | 11. Ізопропіловий спирт | 1,1-1,9 |
| 3. Ацетилен | 0,9-1,9 | 12. Етилен | 0,7-1,3 |
| 4. Бензол | 1,4-2,1 | 13. Етилацетат | 0,8-2,0 |
| 5. Водень марки А | 0,65-1,2 | 14. Етанол (ректифікат) | 1,0-1,6 |
| 6. Діетиловий ефір | 1,2-1,9 | 15. Пропилен | 0,8-2,0 |
| 7. Метан | 1 | 16. Пропан | 1,0-2,0 |
| 8. Метанол | 0,8-1,4 | 17. Пентан | 0,8-2,1 |
| 9. Нефрас А63/75 | 1,4-2,4 | | |

Додаток 4.

Коефіцієнти для визначення температури самоспалахування окремих класів органічних сполук

$$t_{cc} = a \cdot t_{cc}^{\text{алк}} + b$$

| Сполуки | a | b |
|------------------------------------|--------|-------|
| Спирти | 0,6796 | 121,2 |
| Сполуки з групою – NH ₂ | 0,4722 | 170,4 |
| Ароматичні сполуки | 0,6412 | 252,9 |
| Форміати | 0,7719 | 81,5 |
| Ацетати | 0,7909 | 52,0 |
| Пропіонати | 0,7158 | 91,3 |
| Кислоти | 0,7556 | 86,0 |

Додаток 5.

Залежність температури самоспалахування парафінових вуглеводнів від ефективної довжини вуглецевого ланцюга

| l_{cp} | t_{cc} | l_{cp} | t_{cc} | l_{cp} | t_{cc} | l_{cp} | t_{cc} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3,0 | 470 | 6,1 | 232 | 9,1 | 208 | 12,1 | 204 |
| 3,1 | 465 | 6,2 | 231 | 9,2 | 208 | 12,2 | 204 |
| 3,2 | 460 | 6,3 | 230 | 9,3 | 208 | 12,3 | 204 |
| 3,3 | 455 | 6,4 | 229 | 9,4 | 207 | 12,4 | 204 |
| 3,4 | 450 | 6,5 | 228 | 9,5 | 207 | 12,5 | 204 |
| 3,5 | 444 | 6,6 | 227 | 9,6 | 207 | 12,6 | 204 |
| 3,6 | 439 | 6,7 | 226 | 9,7 | 207 | 12,7 | 204 |
| 3,7 | 433 | 6,8 | 225 | 9,8 | 206 | 12,8 | 204 |
| 3,8 | 426 | 6,9 | 224 | 9,9 | 206 | 12,9 | 204 |
| 3,9 | 420 | 7,0 | 223 | 10,0 | 206 | 13,0 | 204 |
| 4,0 | 413 | 7,1 | 222 | 10,1 | 206 | 13,1 | 204 |
| 4,1 | 407 | 7,2 | 221 | 10,2 | 206 | 13,2 | 204 |
| 4,2 | 400 | 7,3 | 221 | 10,3 | 206 | 13,3 | 204 |
| 4,3 | 392 | 7,4 | 220 | 10,4 | 205 | 13,4 | 204 |
| 4,4 | 381 | 7,5 | 219 | 10,5 | 205 | 13,5 | 203 |
| 4,5 | 370 | 7,6 | 218 | 10,6 | 205 | 13,6 | 203 |
| 4,6 | 358 | 7,7 | 217 | 10,7 | 205 | 13,7 | 203 |
| 4,7 | 344 | 7,8 | 216 | 10,8 | 205 | 13,8 | 203 |
| 4,8 | 328 | 7,9 | 216 | 10,9 | 205 | 13,9 | 203 |
| 4,9 | 308 | 8,0 | 215 | 11,0 | 205 | 14,0 | 203 |
| 5,0 | 287 | 8,1 | 214 | 11,1 | 205 | 14,1 | 203 |
| 5,1 | 274 | 8,2 | 213 | 11,2 | 205 | 14,2 | 203 |
| 5,2 | 262 | 8,3 | 213 | 11,3 | 205 | 14,3 | 203 |
| 5,3 | 255 | 8,4 | 212 | 11,4 | 205 | 14,4 | 203 |
| 5,4 | 249 | 8,5 | 211 | 11,5 | 205 | 14,5 | 203 |
| 5,5 | 244 | 8,6 | 211 | 11,6 | 204 | 14,6 | 203 |
| 5,6 | 240 | 8,7 | 210 | 11,7 | 204 | 14,7 | 203 |
| 5,7 | 238 | 8,8 | 210 | 11,8 | 204 | 14,8 | 203 |
| 5,8 | 236 | 8,9 | 209 | 11,9 | 204 | 14,9 | 203 |
| 5,9 | 235 | 9,0 | 234 | 12,0 | 204 | 16,0 | 202 |
| 6,0 | 234 | | | | | | |

Додаток 6.

Залежність температури самоспалахування спиртів від ефективної довжини вуглецевого ланцюга

| l_{cp} | t_{cc} | l_{cp} | t_{cc} | l_{cp} | t_{cc} | l_{cp} | t_{cc} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2,0 | 464 | 4,4 | 337 | 6,8 | 272 | 9,2 | 245 |
| 2,1 | 463 | 4,5 | 333 | 6,9 | 270 | 9,3 | 244 |
| 2,2 | 461 | 4,6 | 326 | 7,0 | 269 | 9,4 | 243 |
| 2,3 | 459 | 4,7 | 326 | 7,1 | 267 | 9,5 | 243 |
| 2,4 | 457 | 4,8 | 322 | 7,2 | 266 | 9,6 | 241 |
| 2,5 | 455 | 4,9 | 319 | 7,3 | 264 | 9,7 | 241 |
| 2,6 | 452 | 5,0 | 315 | 7,4 | 263 | 9,8 | 240 |
| 2,7 | 448 | 5,1 | 312 | 7,5 | 262 | 9,9 | 240 |
| 2,8 | 443 | 5,2 | 309 | 7,6 | 261 | 10,0 | 239 |
| 2,9 | 438 | 5,3 | 306 | 7,7 | 260 | 10,5 | 236 |
| 3,0 | 433 | 5,4 | 304 | 7,8 | 258 | 11,0 | 234 |
| 3,1 | 423 | 5,5 | 301 | 7,9 | 257 | 11,5 | 233 |
| 3,2 | 420 | 5,6 | 299 | 8,0 | 256 | 12,0 | 232 |
| 3,3 | 413 | 5,7 | 296 | 8,1 | 255 | 12,5 | 232 |
| 3,4 | 405 | 5,8 | 294 | 8,2 | 254 | 13,0 | 231 |
| 3,5 | 396 | 5,9 | 291 | 8,3 | 253 | 13,5 | 231 |
| 3,6 | 385 | 6,0 | 289 | 8,4 | 252 | 14,0 | 230 |
| 3,7 | 376 | 6,1 | 287 | 8,5 | 251 | 14,5 | 230 |
| 3,8 | 369 | 6,2 | 284 | 8,6 | 250 | 15,0 | 229 |
| 3,9 | 361 | 6,3 | 282 | 8,7 | 249 | 15,5 | 229 |
| 4,0 | 355 | 6,4 | 280 | 8,8 | 248 | 16,0 | 228 |
| 4,1 | 350 | 6,5 | 278 | 8,9 | 247 | 16,5 | 228 |
| 4,2 | 346 | 6,6 | 276 | 9,0 | 246 | 17,0 | 227 |
| 4,3 | 341 | 6,7 | 274 | 9,1 | 246 | 17,5 | 227 |

Додаток 7.

Визначення групи вибухонебезпечних сумішей за величиною температури самоспалахування.

| Група вибухонебезпечних сумішей | Температура самоспалахування, °С |
|--|---|
| T1 | більше за 450 |
| T2 | 300-450 |
| T3 | 200-300 |
| T4 | 135-200 |
| T5 | 100-135 |
| T6 | 85-100 |

Додаток 8.

Таблиця коефіцієнтів для визначення температурних меж поширення полум'я за структурою речовини:

$$t_{н(в)} = a_0 + a_1 \cdot t_{кип} + \sum a_j I_j,$$

для НТМПП $a_0 = -62,40^\circ\text{C}$; $a_1 = 0,655$

для ВТМПП $a_0 = -41,43^\circ\text{C}$; $a_1 = 0,723$

I_j - число зв'язків j -го типу.

| вид зв'язку | $a_j, ^\circ\text{C}$ | | вид зв'язку | $a_j, ^\circ\text{C}$ | |
|------------------------|-----------------------|--------|--------------|-----------------------|-------|
| | t_n | t_b | | t_n | t_b |
| <i>C - C</i> | -0,909 | - | <i>C - N</i> | -2,14 | 0,096 |
| | | 1,158 | | | |
| <i>C = C</i> | -2,66 | -4,64 | <i>N - H</i> | 6,53 | 6,152 |
| <i>C - H</i> | -0,009 | 0,57 | <i>O - H</i> | 19,75 | 17,8 |
| <i>C - O</i> | 0,11 | 1,267 | <i>C = O</i> | 5,57 | 5,58 |
| <i>C \cdots C аром</i> | -0,733 | -0,767 | | | |

Додаток 9.

Константи k і l гомологічних рядів для визначення температурних меж поширення полум'я .

$$t_{н(в)} = k \cdot t_{кип} - l, \text{ } ^\circ\text{C}$$

де k, l - коефіцієнти гомологічних рядів,

$t_{кип}$ - температура кипіння рідини.

| Гомологічний ряд | Константи НТМПП | | Константи ВТМПП | |
|---------------------------------|--------------------|------|--------------------|------|
| | k | l | k | l |
| Нормальні алкани | 0.6957 | 73.8 | 0.7874 | 50.3 |
| 2-Метилалкани | 0.6885 | 74.9 | 0.7900 | 52.2 |
| Нормальні алкени-1 | 0.6867 | 74.5 | 0.7976 | 49.5 |
| 1-Фенілалкани | 0.6751 | 70.2 | | |
| Нормальні жирні спирти | 0.5746 | 33.7 | 0.6928 | 15.0 |
| Ізоалкілкарбіноли | 0.6582 | 44.1 | 0.7278 | 21.5 |
| Складні ефіри мурашиної кислоти | 0.5359 | 47.6 | 0.6050 | 25.0 |
| Складні ефіри оцтової кислоти | 0.5940 | 50.9 | 0.7761 | 40.8 |
| Первинні нормальні алкіламіни | 0.5004 | 54.6 | | |

Додаток 10.

Емпіричні константи **a** і **b** для визначення температури спалаху:

$$t_{\text{сп}} = a + bt_{\text{кип}}$$

| Клас речовин | Коефіцієнти | |
|---------------------|-------------|-------|
| | a, °C | b |
| Алкани | -73,22 | 0,693 |
| Алкананіліни | -21,94 | 0,553 |
| Алканфеноли | -38,42 | 0,623 |
| Альдегіди | -74,76 | 0,813 |
| Ароматичні речовини | -67,83 | 0,665 |
| Бромалкани | -49,56 | 0,665 |
| Карбонові кислоти | -43,57 | 0,708 |
| Кетони | -52,69 | 0,643 |
| Спирти | -41,69 | 0,652 |

Додаток 11.

Константи a_j , °C для визначення температури спалаху

$$t_{\text{сп.}} = a_0 + a_1 \cdot t_{\text{кип.}} + \sum a_j \cdot l_j$$

де $a_0 = -73,14$ °C $a_1 = 0,659$

l_j – число зв'язків j -го виду.

| Вид зв'язку | a_j , °C | Вид зв'язку | a_j , °C |
|-------------------------------------|------------|-------------|------------|
| C - C | -2,03 | C - Cl | 15,11 |
| C - F | 3,33 | C - Br | 19,40 |
| C = C | 1,72 | C - Si | -4,84 |
| C - H | 1,105 | Si - H | 11,00 |
| C - O | 2,47 | Si - Cl | 10,07 |
| C = O | 11,66 | N - H | 5,83 |
| C - N | 14,15 | O - N | 23,90 |
| C \equiv N | 12,13 | S - H | 5,64 |
| C - S | 2,09 | P - O | 3,27 |
| C = S | -11,91 | P = O | 9,64 |
| <i>C \cdots C аром</i> | -0,28 | | |

Додаток 12.

Значення коефіцієнтів h_j , h_s для визначення концентраційних меж поширення полум'я за хімічним складом горючої речовини

$$\varphi_H^0 = \frac{100}{1 + h_f \Delta H_f^0 + \sum_{j=1}^n h_j m_j + \sum_{s=1}^q h_s m_s}, \%$$

де $h_f = 0,0246 \cdot \text{моль} \cdot \text{кДж}^{-1}$;

ΔH_f^0 - теплота утворення речовини у газоподібному стані, $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$;

m_j , m_s - число атомів та структурних груп.

h_j , h_s – коефіцієнт відповідно j -го елемента та s -ої групи.

| h_j | | | | | h_s | |
|-------|-------|--------|--------|----------|--------------------|-----------------------|
| h_C | h_H | h_O | h_N | h_{Cl} | $h_{-C \equiv C-}$ | $h_{-C \nabla C - O}$ |
| 9.134 | 2.612 | -0.522 | -0.494 | -3.57 | 7.88 | 6.50 |

Додаток 13.

Значення коефіцієнтів a і b для визначення нижньої концентраційної межі поширення полум'я пилю за формулою Шоневальда:

$$\varphi_{\text{н}} = a + \frac{b \cdot 10^6}{Q'_{\text{н}}},$$

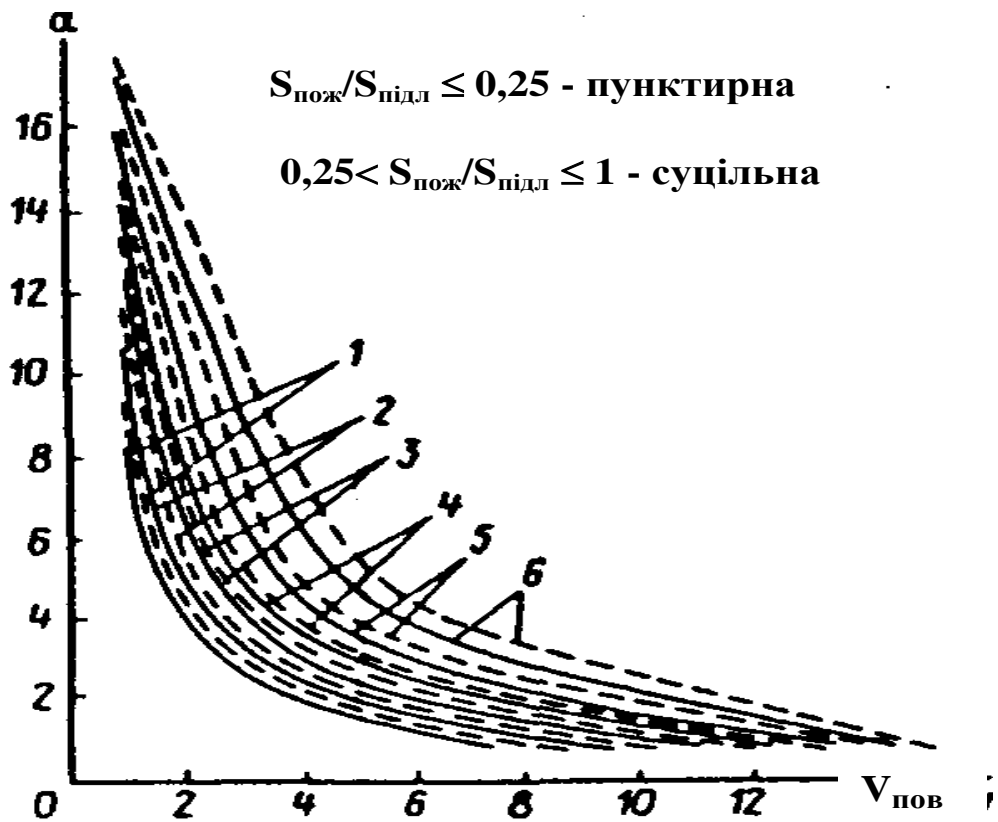
де $Q'_{\text{н}}$ – нижча масова теплота згоряння речовини;

a, b – коефіцієнти, значення яких наведено в таблиці

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

Додаток 14.

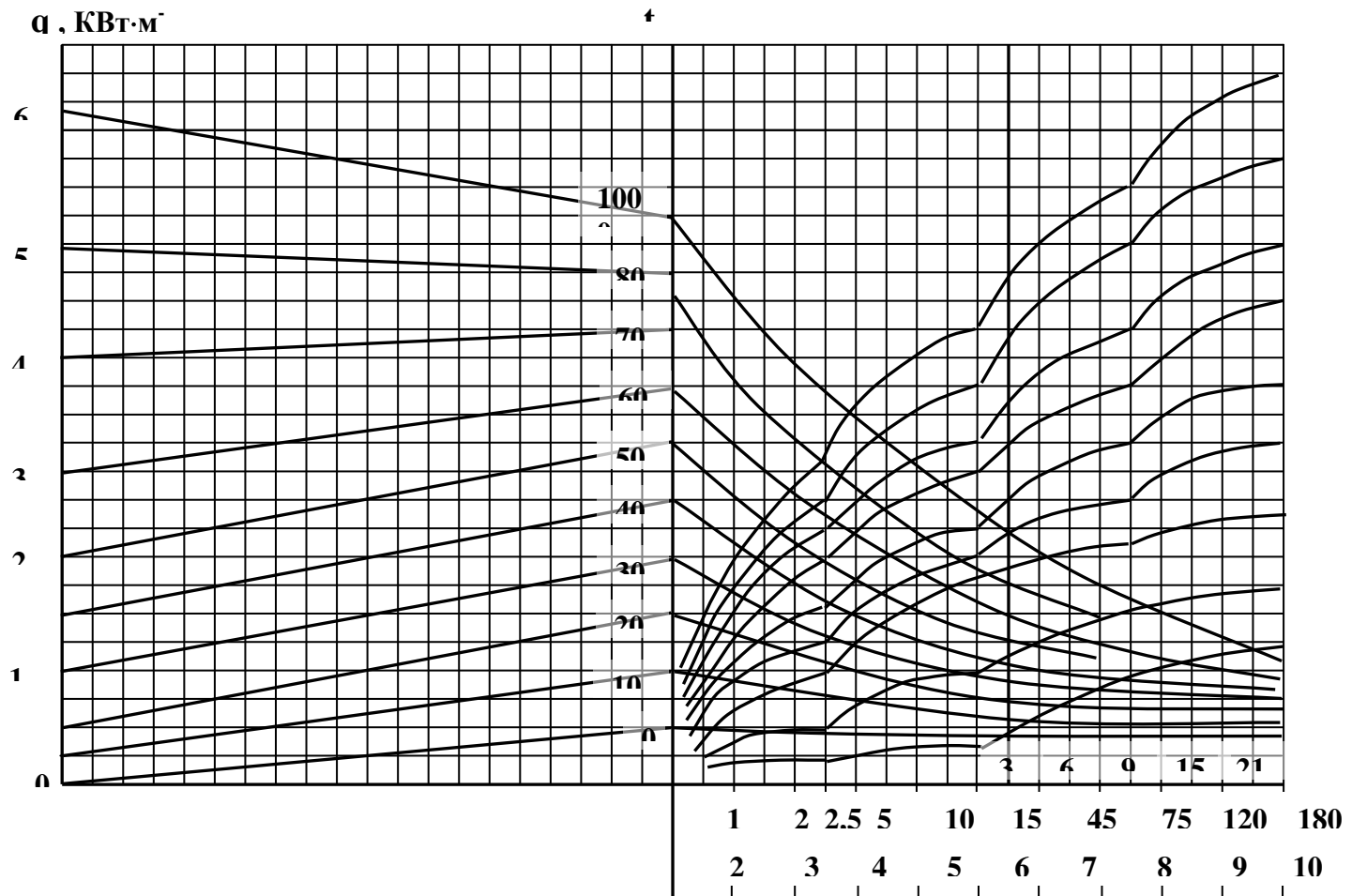
Номограма для визначення коефіцієнта надлишку повітря



- крива 1 – $S_{\text{притоку}}/S_{\text{пож.}} < 0,04$;
крива 2 – $0,04 < S_{\text{притоку}}/S_{\text{пож.}} < 0,06$
крива 3 – $0,06 < S_{\text{притоку}}/S_{\text{пож.}} < 0,10$;
крива 4 – $0,10 < S_{\text{притоку}}/S_{\text{пож.}} < 0,17$
крива 5 – $0,17 < S_{\text{притоку}}/S_{\text{пож.}} < 0,25$;
крива 6 – $0,25 < S_{\text{притоку}}/S_{\text{пож.}} < 0,33$.

Додаток 15.

Номограма для визначення температури пожежі.



Додаток 16.

Коефіцієнти для визначення флегматизуючої концентрації

$$\varphi_{\text{фл}}^0 = 100 \frac{h'_f H_f + h'_\phi + \sum h'_j m_j}{h''_\phi - 1 + \sum h''_j m_j}, \%$$

| Коефіцієнти | Значення коефіцієнтів при розведенні суміші | | |
|-------------------------------|---|-------------------------|-----------------------|
| | N ₂ | H ₂ O (пара) | CO ₂ |
| h'_f моль·кДж ⁻¹ | $0,865 \cdot 10^{-2}$ | $0,802 \cdot 10^{-2}$ | $0,736 \cdot 10^{-2}$ |
| h'_ϕ | 1,256 | 0,780 | 0,584 |
| h'_C | 2,528 | 1,651 | 1,292 |
| h'_H | 0,759 | 0,527 | 0,427 |
| h'_O | 0,197 | 0,446 | 0,570 |
| h'_N | -0,151 | -0,147 | -0,133 |
| h''_ϕ | 2,800 | 2,236 | 2,020 |
| h''_C | 5,946 | 5,000 | 4,642 |
| h''_H | 1,486 | 1,250 | 1,160 |
| h''_O | -2,973 | -2,500 | -2,321 |
| h''_N | 0 | 0 | 0 |

ЛІТЕРАТУРА

1. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. М., Химия, 1981.
2. Демидов П.Г., Саушев В.С. Горение и свойства горючих веществ. М., 1975.
3. Бронишевский Б.П., Шандыба В.А. Специальная химия. М., 1979.
4. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожара. М, ВИПТШ МВД СССР, 1980.
5. Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К., Крылов Е.В. Процессы горения. М. ВИПТШ МВД СССР, 1984.
6. Дерев'янюк І.Г. Лабораторний практикум по курсу "Теорія горіння, розвитку пожеги і припинення горіння"
7. Монахов В.Т. Способы исследования пожарной опасности веществ. М., Химия, 1979.
8. Повзик Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. Пожарная тактика. М, Стройиздат, 1990.
9. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. М., Стройиздат. Химия, 1990.
10. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочник, М., Химия 1987.
11. Справочник руководителя тушения пожара. М., Стройиздат, 1987.

Додаткова література

12. Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. -444 с. Башкирцев М.П. Задачник по теплопередаче в пожарном деле. - М.: ВШ МВД СССР, 1971.-210 с.
13. Астапенко В.М. и др. Термогазодинамика пожаров в помещении. - М.: Стройиздат, 1988.

14. Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. - М.: РИСО АН СССР, 1961. - 210 с.
15. Клубань В.С., Петров А.П., Рябиков В.С. Пожарная безопасность предприятий промышленного и агропромышленного комплекса. М.: Стройиздат, 1987. - 477с.
16. Ройтман М.Я. Пожарная профилактика в строительном деле. - М.: РИО ВИПТШ МВД СССР, 1975. -528 с.
17. Померанцев В.В. Основы практической теории горения. Л.: Энергоатомиздат, 1986.- 312 с.
18. Исаев С.И. Курс химической термодинамики. М.: Высшая школа, 1986. - 272с. Иванов Е.Н. Противопожарная защита открытых технологических установок. М.: Химия 1986. -288 с.
19. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. Перевод с английского. М.: Стройиздат, 1990. - 424 с.
20. Розловский А.Н. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. М.: Химия, 1980. -376 с.
21. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Наука, 1979.
22. Мальцев В.М., Мальцев М.И., Кашпаров Л.Я. Основные характеристики горения. - М.: Химия, 1977.
23. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. - М.: Наука, 1980.
24. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. - М., 1999.
25. Таубкин С.И., Баратов А.Н., Никитина Н.С. Справочник пожароопасности твердых веществ и материалов. М., Изд. МКХ РСФСР, 1961.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Безпека праці та правила надання першої допомоги при роботі в лабораторії | 4 |
| Лабораторна робота №1 Дослідження різних видів полум'я | 6 |
| Теоретична частина роботи..... | 6 |
| Експериментальна частина роботи..... | 15 |
| Дослідження температурного режиму полум'я контактним методом (за допомогою термопари)..... | 15 |
| Дослідження температурного режиму дифузійного полум'я за допомогою пірометра..... | 17 |
| Дослідження режиму руху дифузійного полум'я | 19 |
| Контрольні запитання | 22 |
| Лабораторна робота №2 Матеріальний баланс процесу горіння | 23 |
| Теоретична частина роботи..... | 23 |
| Експериментальна частина роботи..... | 28 |
| Контрольні запитання | 31 |
| Лабораторна робота №3 Визначення концентрації горючих парів та газів у повітрі та встановлення ступеня їх небезпеки | 33 |
| Теоретична частина роботи..... | 33 |
| Експериментальна частина роботи..... | 38 |
| Визначення здатності до кінетичного горіння пароповітряної суміші досліджуваної речовини..... | 38 |
| Визначення ступеня небезпеки фактичної концентрації парів досліджуваної речовини..... | 42 |
| Контрольні запитання | 46 |
| Лабораторна робота №4 Визначення стандартної температури самоспалахування | 48 |
| Теоретична частина роботи..... | 48 |
| Експериментальна частина роботи..... | 55 |
| Контрольні запитання | 60 |
| Лабораторна робота №5 Визначення здатності до самозаймання жирів та олій..... | 62 |
| Теоретична частина роботи..... | 62 |

| | |
|--|-----|
| Експериментальна частина роботи..... | 69 |
| Контрольні запитання: | 71 |
| Лабораторна робота №6 Дослідження швидкості поширення фронту полум'я | 73 |
| Теоретична частина роботи..... | 73 |
| Експериментальна частина роботи..... | 79 |
| Контрольні запитання..... | 82 |
| Лабораторна робота №7 Визначення температурних меж поширення полум'я рідин | 84 |
| Теоретична частина роботи..... | 84 |
| Експериментальна частина роботи..... | 91 |
| Контрольні запитання | 95 |
| Лабораторна робота №8 Визначення температури спалаху рідин | 96 |
| Теоретична частина роботи..... | 96 |
| Експериментальна частина роботи..... | 102 |
| Визначення температури спалаху в закритому тиглі | 102 |
| Визначення температури спалаху у відкритому тиглі | 105 |
| Контрольні запитання: | 107 |
| Лабораторна робота №9 горіння твердих горючих матеріалів | 109 |
| Теоретична частина роботи..... | 109 |
| Експериментальна частина роботи..... | 114 |
| Дослідження впливу орієнтації зразка на швидкість поширення полум'я по поверхні твердих горючих матеріалів | 114 |
| Визначення групи важкогорючих і горючих твердих речовин і матеріалів | 119 |
| Контрольні запитання: | 122 |
| Лабораторна робота №10 Визначення нижньої концентраційної межі аерозолі та встановлення ступеня пожежовибухонебезпеки пилу ... | 123 |
| Теоретична частина роботи..... | 123 |
| Експериментальна частина роботи..... | 126 |
| Контрольні запитання: | 131 |
| Лабораторна робота №11 Дослідження тепло- та масообміну пожежі в огороженні | 132 |

| | |
|--|-----|
| Теоретична частина роботи..... | 132 |
| Експериментальна частина роботи..... | 139 |
| Контрольні запитання..... | 142 |
| Лабораторна робота №12 Дослідження механізму припинення горіння охолодженням..... | 143 |
| Теоретична частина роботи..... | 143 |
| Експериментальна частина роботи: | 153 |
| Контрольні запитання..... | 155 |
| Лабораторна робота №13 Дослідження механізму припинення горіння ізоляцією | 157 |
| Теоретична частина роботи..... | 157 |
| Експериментальна частина роботи..... | 162 |
| Контрольні запитання..... | 165 |
| Лабораторна робота №14 Дослідження механізму припинення горіння методом розбавлення | 166 |
| Теоретична частина роботи..... | 166 |
| Експериментальна частина роботи..... | 172 |
| Контрольні запитання..... | 176 |
| Лабораторна робота №15 Дослідження механізму припинення горіння методом хімічного гальмування реакції | 177 |
| Теоретична частина роботи..... | 177 |
| Експериментальна частина роботи..... | 183 |
| Контрольні запитання..... | 185 |
| ДОДАТКИ..... | 186 |
| Література | 203 |