

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології**

# **ТЕОРІЯ ГОРІННЯ ТА ВИБУХУ**

*Робочий зошит  
для лабораторних робіт*

**Харків, 2024**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології**

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

# **ТЕОРІЯ ГОРІННЯ ТА ВИБУХУ**

Робочий зошит  
для лабораторних робіт

Група \_\_\_\_\_

Прізвище, ініціали \_\_\_\_\_

Харків, 2024

Друкується за рішенням кафедри  
спеціальної хімії та хімічної технології  
НУЦЗ України  
(протокол від 23.04.24 №12)

**Укладачі:** Д. Г. Трегубов, Ю. К. Гапон

Теорія горіння та вибуху: робочий зошит для лабораторних робіт /  
Укладачі: Д. Г. Трегубов, Ю. К. Гапон. – НУЦЗУ, 2024. – 96 с.

Робочий зошит призначено для покращення якості опанування навчальною дисципліною «Теорія горіння та вибуху» здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) рівня в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» (освітньо-професійні програми: «Цивільний захист» та «Охорона праці»). Робочий зошит містить теоретичні матеріали, необхідні для розуміння процесів виникнення, поширення, запобігання та припинення горіння, які досліджуються під час проведення лабораторних робіт, схеми дослідних установок, необхідні довідкові матеріали для проведення розрахунків за певними методиками. Даний зошит дозволяє краще організувати та прискорити роботу слухачів на занятті.

## ЗМІСТ

Правила безпеки праці під час проведення лабораторних робіт.....	4
Надання першої допомоги.....	5
Будова полум'я. Процеси, що відбуваються у полум'ї.....	7
Робота № 1 Дослідження різних видів полум'я.....	9
Виникнення процесу горіння. Пожежна небезпека газоповітряних сумішей.....	15
1	
Робота № 2 Визначення концентрації горючих газів у повітрі та встановлення ступеню їх небезпеки.....	17
Самоспалахування повітряних систем.....	23
Робота № 3 Визначення стандартної температури самоспалахування.....	26
Самозаймання твердих систем.....	32
Робота № 4 Визначення схильності олії до самозаймання.....	35
Горіння газів.....	40
Робота № 5 Дослідження швидкості поширення фронту полум'я.....	42
Пожежна небезпека рідин.....	47
Робота № 6 Визначення температурних меж Поширення полум'я та температури спалаху.....	51
Горіння твердих горючих матеріалів.....	57
Робота № 7 Визначення швидкості поширення полум'я по поверхні твердих горючих матеріалів.....	59
Горіння дисперсних систем.....	63
Робота № 8 Визначення нижньої концентраційної межі поширення полум'я аерозолію.....	66
Пожежа та її розвиток.....	70
Робота № 9 Дослідження тепло- та масообміну пожежі в огороженні.....	74
Запобігання та припинення горіння.....	79
Робота № 10 Дослідження механізму припинення горіння розведенням.....	82
Додатки.....	87

## ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. До роботи в лабораторії допускаються особи, що пройшли первинний інструктаж із безпеки праці з відповідним записом в журналі з техніки безпеки.

2. До виконання роботи допускаються особи, що знають мету, порядок проведення роботи, устрій та призначення приладів.

3. При проведенні лабораторної роботи слід додержуватись порядку її проведення. Дії виконують після дозволу викладача. Незрозумілі питання вирішувати за допомогою викладача.

4. Всі роботи із легкозаймистими і горючими рідинами проводять під витяжним зонтом із увімкненою вентиляцією.

5. Категорично заборонено користуватись відкритим полум'ям для нагрівання ЛЗР та ГР.

6. Обладнання для нагрівання ЛЗР та ГР необхідно розміщувати в лотку достатньої ємності, висота борта якого дозволяє ізолювати поширення полум'я у разі аварійної ситуації.

7. При користуванні газовими пальниками не допускати «проскоку» полум'я в середину. Якщо таке трапилось 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. Електронагрівачі, розжарені і гарячі предмети до остигання розташовують 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 - вимкнути газ, електроенергію, воду, прибрати робочі місця, прилади і обладнання.

Місця для проведення лабораторних робіт повинні відповідати вимогам електробезпеки за ГОСТ 12.1.019 і санітарно-гігієнічним вимогам за ГОСТ 12.1.005.

## НАДАННЯ ПЕРШОЇ ДОПОМОГИ

**Термічні опіки.** Виникають при дії на відкриті ділянки тіла високої температури (полум'я, потрапляння на шкіру гарячих рідин, розпечених предметів тощо).

**Допомога.** Швидко припинити контакт з гарячими речовинами. При займанні одягу загасити його і зняти тліючі залишки. Залишки одягу, прилипли до тіла, не здирати, а обрізати ножицями. На обпечену поверхню шкіри накласти ватно-марлеву пов'язку, змочену в спирті. В разі значних опіків кінцівок потрібно накласти на них транспортні шини. За незначних опіків змазують обпечену частину шкіри 2–3% розчином марганцевокислого калію та накладанням стерильної пов'язки (крім обличчя).

**Хімічні опіки.** Виникають внаслідок дії концентрованих неорганічних та органічних кислот, лугів, фосфору, інших речовин на шкіру. Можуть бути складовою термохімічних опіків.

**Допомога.** Якщо хімічною речовиною просочився одяг, його треба на місці події швидко зняти, розрізати чи розірвати. Речовини, що потрапили на шкіру, видаляють механічно, змивають струменем води. Після промивання водою бажано обмити обпечені частини розчинами: за опіку кислотами – 2% розчином соди чи мильною водою; за опіку лугами – 1–2% розчином оцтової, лимонної чи борної кислоти; за опіку фосфором роблять примочки з 5% розчину марганцевокислого калію. Після цього накладають суху пов'язку. При потраплянні хімічної речовини у дихальні шляхи (очі) необхідно прополоскати горло (промити очі) 3% водним розчином борної кислоти..

**Отруєння.** Виникають за дії отрути різного походження.

**Допомога.** До прибуття лікаря необхідно припинити контакт потерпілого з отруйною речовиною та видалити її з організму. Дії залежать від шляху потрапляння отрути.

Якщо отрута (крім кислот чи лугів) *потрапила у шлунково-кишковий тракт*, потерпілому негайно кілька разів промивають шлунок до появи чистих промивних вод. Для цього його примушують випити 1,5–2,0 л води ледь підфарбованої марганцевокислим калієм або води з питною содою (1 чайна ложка на 1 склянку води), а потім викликають блювання подразненням кореня язика. Після дають суспензію активованого вугілля – 1 таблетка на 10 кг маси тіла. Кишечник очищають за допомогою сольового проносного – 20 г гіркої солі ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) на 0,5 склянки води.

**Отруєння кислотами та лугами.** Видалити слину і слиз з рота потерпілого, дати 2–3 склянки води, щоб розбавити кислоту чи луг. Не можна промивати шлунок водою, щоб не викликати блювання і потрапляння отрути у дихальні шляхи. Не можна нейтралізувати кислоту у шлунку лугом і навпаки, оскільки утвориться велика кількість вуглекислого газу,

що розтягне шлунок, посилить біль та кровотечу. Якщо виникли ознаки задухи, проводять штучне дихання – способом «з рота в ніс».

**Потрапляння отрути у дихальні шляхи (СО та ін.).** За отруєння газами або парами потерпілому забезпечують приплив свіжого повітря, звільняють від одягу, що утруднює дихання. При зупинці дихання – проводять штучне дихання.

**Електричні травми** – пошкодження організму за протікання крізь нього електричного струму, дії електричної дуги, блискавки.

**Місцеві електротравми** – чітко окреслені порушення цілісності окремих ділянок тіла під дією електричного струму або дуги.

**Загальні електротравми** (ступені): I – судомне скорочення м'язів без втрати свідомості; II – судомне скорочення м'язів із втратою свідомості та/або зупинкою дихання; III – втрата свідомості і порушення серцевої діяльності; IV – клінічна смерть.

**Допомога.** Звільнити потерпілого від дії електричного струму: вимкнути електричну напругу на обладнанні, до якого дотикається людина. Якщо це неможливо – відтягнути людину від джерела напруги або відкинути дрід, який торкається людини. Людина, яка надає допомогу, повинна дотримуватись правил безпеки. За напруги до 1000 В дрід можна відкинути сухою палкою або дошкою. Відтягти потерпілого від джерела напруги можна руками у діелектричних рукавицях або сухій тканині; при цьому стати на дошку, одяг або іншу не струмопровідну підстилку. За напруги понад 1000 В для цього можна використовувати лише ізолюючу штангу або кліщі, одягнувши діелектричні рукавички та боти. Далі для потерпілого у разі зупинки дихання і серцебиття робити штучне дихання і непрямий масаж серця.

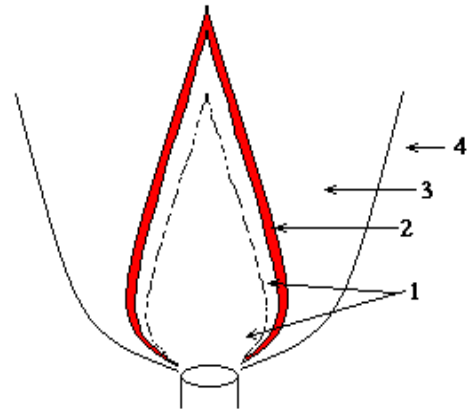
# БУДОВА ПОЛУМ'Я. ПРОЦЕСИ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ У ПОЛУМ'І

## Теоретичне обґрунтування роботи

**Полум'я** – це газовий об'єм, де відбуваються всі процеси підготовки горючої суміші до горіння і сам процес горіння.

**Зони полум'я.** У будові ламінарного полум'я можна виділити декілька зон:

- 1) підготовча зона:  
зона горючих парів та газів;  
зона суміші горючої речовини з продуктами горіння;
- 2) зона горіння;
- 3) зона суміші продуктів горіння із повітрям;
- 4) зона холодного повітря.



**Залежно від умов сумішоутворення розрізняють дифузійне та кінетичне полум'я.**

Якщо горюча суміш утворюється шляхом дифузії компонентів горючої суміші у зону горіння то говорять про *дифузійне горіння*. Швидкість такого горіння визначається швидкістю масообміну: при горінні горючого газу, який витікає у атмосферу повітря, кисень дифундує крізь шар продуктів горіння до зони горіння, де вступає в хімічну реакцію із горючою речовиною.

Якщо горить готова горюча суміш, тоді говорять про *кінетичне горіння*, оскільки сумарна швидкість процесу горіння залежить переважно від швидкості протікання хімічної реакції між горючою речовиною і окисником, від кінетики реакції.

У полум'ї відбуваються різноманітні фізичні та хімічні процеси. У **підготовчій зоні** (парів та газів) первинним є фізичний процес попереднього нагріву горючої суміші (кінетичне полум'я) або горючої речовини (дифузійне полум'я) за рахунок випромінювання від зони горіння та теплопровідності від гарячих продуктів горіння, які дифундують із зони горіння у підготовчу. Температура газів при наближенні до зони горіння поступово збільшується, а, отже, і їх енергія. Молекули переходять в збуджений стан, за якого можуть розірватися хімічні зв'язки. Це призводить до протікання хімічних процесів – розкладання молекул на атоми, радикали, функціональні групи. Якщо горюча речовина має у своєму складі кисень або полум'я є кінетичним, то окисник, який потрапив у підготовчу зону, починає реагувати із продуктами, що утворюються при розкладанні горючої речовини. Відбувається попереднє окислення, але це не є горіння, тому що температура, і швидкість хімічної реакції ще недостатні.



**Концентрація горючої речовини в підготовчій зоні змінюється за рахунок дифузії продуктів горіння із зони горіння. Якщо полум'я дифузійне, то концентрація падає від 100 % до верхньої межі запалювання на початку зони горіння. Кисень повітря у підготовчу зону не потрапляє, оскільки повністю витрачається на підтримання хімічної реакції в зоні горіння.**

**Зона горіння** – тонкий шар, де з великою швидкістю протікають хімічні перетворення процесу горіння – реакції окиснення.

У дифузійному полум'ї хімічній реакції передують фізичний процес сумішоутворення шляхом молекулярної дифузії горючої речовини із підготовчої зони та окисника із навколишнього середовища. У зоні горіння виділяється тепло хімічної реакції та утворюються продукти горіння, які дифундують як у підготовчу зону, так й у зону суміші продуктів горіння з повітрям. За рахунок реакції горіння концентрація кисню у зоні горіння швидко зменшується біля підготовчої зони, а горючої речовини – біля зони суміші продуктів горіння з повітрям.

**В зоні суміші продуктів горіння з повітрям** відбувається взаємна дифузія продуктів горіння у навколишнє середовище та окисника до зони горіння. При цьому відбувається попередній нагрів повітря за рахунок променистої теплопередачі та теплопровідності від гарячих продуктів горіння і поступове охолодження продуктів горіння. Якщо в зоні горіння горюча речовина не встигла повністю згоріти, то у цій зоні відбувається додатковий хімічний процес – доокиснення горючої речовини.

На пожежі частіше відбувається дифузійне горіння. Кінетичне горіння спостерігається на початку пожеж технологічного обладнання у вигляді вибухів, а також при поширенні горіння.

**РОБОТА № 1**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ПОЛУМ'Я**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

**Речовина, що досліджується :**.....

**Умови проведення досліду:**

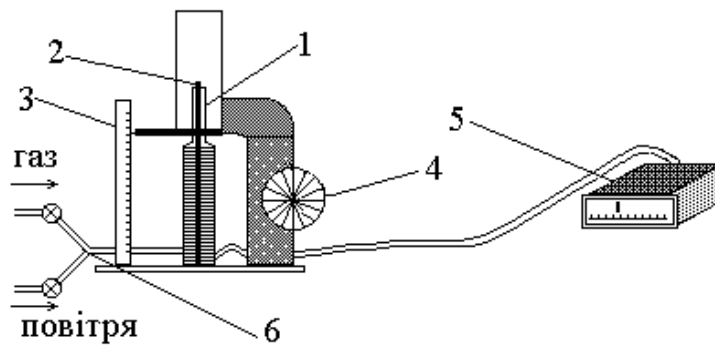
Температура: ..... °С;

Атмосферний тиск: .....кПа;

Експериментальна частина

**Дослідження температурного режиму полум'я**

Схема лабораторної установки



1. ....;
2. ....;
3. ....;
4. ....;
5. ....;
6. ....;

**Порядок проведення дослідження:**

1. ....;
2. ....;
3. ....;
4. ....;

5. ....  
 .....  
 6. ....  
 .....

**Структура полум'я**  
 (схематична характеристика)

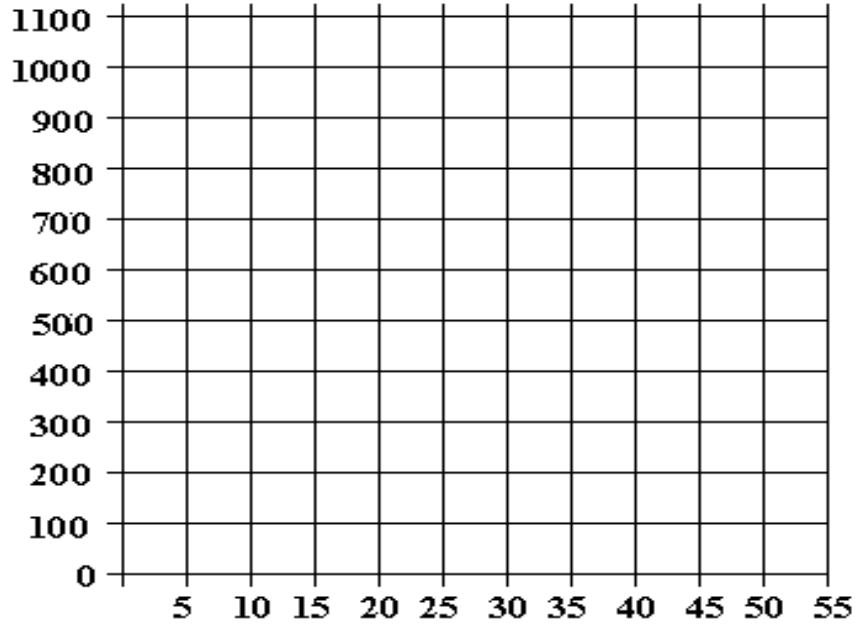
Дифузійне полум'я

Кінетичне полум'я

**Таблиця результатів досліду**

	Точка вимірювання, мм	Температура полум'я, °С	
		дифузійне	кінетичне
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

*Графік зміни температури у полум'ї*



**Висновок:** .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

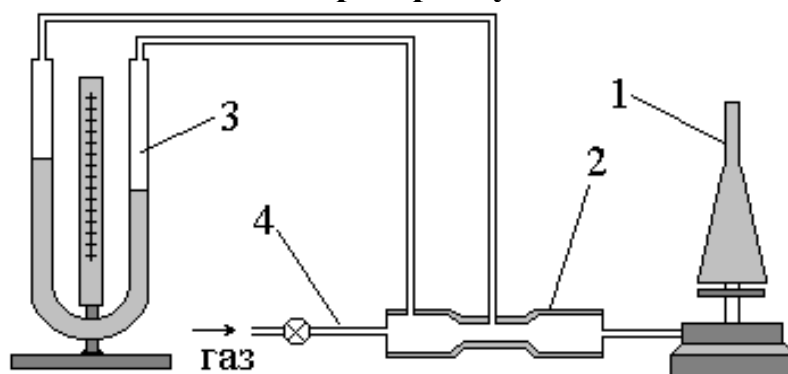
.....

.....

.....

## Дослідження газодинамічного режиму горіння дифузійного полум'я

**Схема лабораторної установки**



1. .... ;
2. .... ;
3. .... ;
4. .... ;

### Порядок проведення дослідження:

1. .... ;
2. .... ;
3. .... ;
4. .... ;
5. .... ;
6. .... ;

### Обробка результатів дослідження

1. Розрахувати швидкість руху газу: 
$$\omega_{\Gamma} = \sqrt{2g \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\Gamma}} \cdot \frac{\Delta H}{1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4}},$$

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

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

$d_1$  – діаметр на вході трубки Вентурі =  $10^{-3} \text{ м}$ ;

$d_2$  – діаметр на виході трубки Вентурі, =  $9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;

$\Delta H$  - показання водяного манометра, м.

$\Delta H_1 = \dots \omega_1 = \dots$

$\Delta H_2 = \dots \omega_2 = \dots$

$\Delta H_3 = \dots \omega_3 = \dots$

2. Розрахувати число Рейнольда:  $Re = \frac{\rho_{\Gamma} \cdot \omega_{\Gamma} \cdot d_0}{\mu_{\Gamma}}$ ,

де  $\omega_{\Gamma}$  - швидкість руху газу,  $m \cdot s^{-1}$ ;

$d_0$ - діаметр пальника,  $10^{-2} m$ ;

$\mu_{\Gamma}$  - динамічна в'язкість газу,  $10^{-4}$ ,  $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ .

$\omega_1 = \dots Re_1 \dots$

$\omega_2 = \dots Re_2 \dots$

$\omega_3 = \dots Re_3 \dots$

Таблиця результатів дослідів

№	Показання манометра, $\Delta H$ , м.	Швидкість руху газу, $\omega$ , $m \cdot s^{-1}$ .	Число Рейнольда, $Re$	Режим полум'я
1				
2				
3				

**Висновок:** .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## ВИНИКНЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ. ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ГАЗОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ

### Теоретичне обґрунтування роботи

Виникнення та поширення горіння у сумішах горючої речовини (ГР) і окисника можливі лише в обмеженому діапазоні їх концентрацій. За спроби підпалити суміші, склад яких виходить за ці межі, стійке горіння не утворюється, реакція не виникає або затухає на деякій відстані. Існують як мінімальна, так і максимальна концентрація ГР, за яких утворюються критичні умови виникнення та поширення полум'я. Для сумішей ГР і окисника розрізняють нижню і верхню концентраційні межі поширення полум'я.

*Нижня концентраційна межа поширення полум'я ( $\varphi_n$ , НКМПП)* – найменша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, за якої вже можливе виникнення та поширення горіння.

*Верхня концентраційна межа поширення полум'я ( $\varphi_v$ , ВКМПП)* – найбільша концентрація горючої речовини в суміші з повітрям, за якої ще можливе виникнення та поширення горіння.

В області концентрації ГР між нижньою і верхньою КМПП є можливість запалювання і стійкого горіння суміші; це – *область вибухонебезпечних концентрацій*. Поза концентраційних меж суміші стають вибухобезпечними. Але якщо за концентрацій ГР менше НКМПП не можливо виникнення ніякого горіння, то за концентрацій більше ВКМПП можливе дифузійне горіння при виході даної суміші у навколишній простір і її запалюванні.

Для визначення КМПП використовують експериментальні і розрахункові способи. Більш простою є емпірична формула:

$$\varphi_m = \frac{100}{a\beta + b}, \%$$

де  $\beta$  - стехіометричний коефіцієнт реакції горіння;

$a, b$  - емпіричні константи для нижньої і верхньої КМПП.

Більш точний розрахунок враховує вплив хімічної будови ГР:

$$\varphi_m = \frac{100}{\sum_{\mu=1}^s h_s m_s}, \%$$

де  $h_s$  - внесок  $s$ -тої структурної групи молекули,

$l_s$  - число  $s$ -тих структурних груп у будові молекули.



НКМПП також можна визначити за мінімальною критичною кількістю тепла, яка виділяється при горінні бідних сумішей і ще достатня для поширення горіння: для більшості вуглеводневих горючих речовин вона становить близько 1830 кДж/м<sup>3</sup>. Тоді:

$$\varphi_H = 100 \frac{Q_{кр}^{//}}{Q_H^{//}} = \frac{183000}{Q_H^{//}}, \%$$

Можна визначити НКМПП й за елементним складом ГР:

$$\varphi_H = \frac{100}{1 + h_f \Delta H_f^0 + \sum_{j=1}^n h_j m_j + \sum_{s=1}^q h_s l_s}, \%$$

де  $h_f$  - параметр теплоти утворення ГР, моль·кДж<sup>-1</sup>;  
 $H_f^0$  - стандартна теплота утворення ГР, кДж·моль<sup>-1</sup>;  
 $h_j$  - параметр j-го елемента у молекулі ГР;  
 $m_j$  - число атомів j-го елемента в молекулі ГР.

КМПП можуть змінюватися за зміни зовнішніх умов внаслідок зміни балансу тепловиділення і тепловіддачі у системі. Всі чинники, зміна яких призводить до збільшення тепловиділення – розширюють КМПП (знижують нижню і підвищують верхню КМПП), а чинники, які збільшують тепловіддачу – звужують КМПП (збільшують нижню і зменшують верхню КМПП). Враховуючи можливість зміни КМПП для забезпечення пожежної безпеки при роботі з ГР визначають безпечні концентрації, нижче або вище яких суміш гарантовано не буде запалюватися:

$$\varphi_{нб} < 0,9(\varphi_H - 0,21), \%; \quad \varphi_{вб} \geq 1,1(\varphi_v + 0,42), \%$$

Тоді горюча суміш буде *вибухобезпечною* за концентрацій:

$$\varphi_{факт} \leq \varphi_{нб}, \text{ або } \varphi_{факт} \geq \varphi_{вб}$$

КМПП суміші газів розраховують за *формулою Ле-Шательє*:

$$\varphi_{H(v) сум} = \frac{\sum \varphi_i}{\sum \frac{\varphi_i}{\varphi_{H(v) i}}}, \%$$

**РОБОТА № 2**  
**ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ У ПОВІТРІ**  
**ТА ВСТАНОВЛЕННЯ СТУПЕНЮ ЇХ НЕБЕЗПЕКИ**

**Мета роботи:** .....

.....  
 .....  
 .....

**Речовина, що досліджується :** .....

**Умови проведення дослідіду:**

- Температура: .....°С;

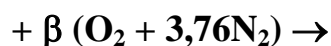
- Атмосферний тиск: .....кПа;

**РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

1. Розрахунок концентраційних меж поширення полум'я та області вибухонебезпечних концентрацій :

1.1. За апроксимаційною формулою (додаток №1):

Рівняння реакції горіння:



$\beta =$

$\varphi_{\text{н}} =$  ....., %,

$\varphi_{\text{в}} =$  ....., %,

1.2. З урахуванням хімічної структури речовини (додаток №2):

Структурна формула речовини

**Число зв'язків та їх внесок до КМПП:**

Зв'язок	Число зв'язків	$h_{si}$ для НКМПП	$h_{si}$ для ВКМПП

$$\varphi_H = \dots, \quad \%$$

$$\varphi_B = \dots, \quad \%$$

1.3. Визначення безпечних концентраційних меж:

$$\varphi_{H.б.} = \dots, \quad \%$$

$$\varphi_{B.б.} = \dots, \quad \%$$

## 2. Розрахунок фактичної концентрації горючої пари

$$V_{\text{колб}} = \quad \text{мл}; \quad V_{\text{рід}} = \quad \text{мл}; \quad \rho_{\text{рід}} = \quad \text{г} \cdot \text{мл}^{-1};$$

$$\mu = \quad \text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}.$$

2.1. Маса горючої пари у колбі:

$$m_{\text{рід}} = V_{\text{рід}} \cdot \rho_{\text{рід}} \dots, \quad \text{г}.$$

2.2. Фактична масова концентрація пари:

$$\varphi_{\text{факт}} = \frac{m_{\text{рід}}}{V_{\text{колби}}} = \dots, \quad \text{г} \cdot \text{м}^{-3},$$

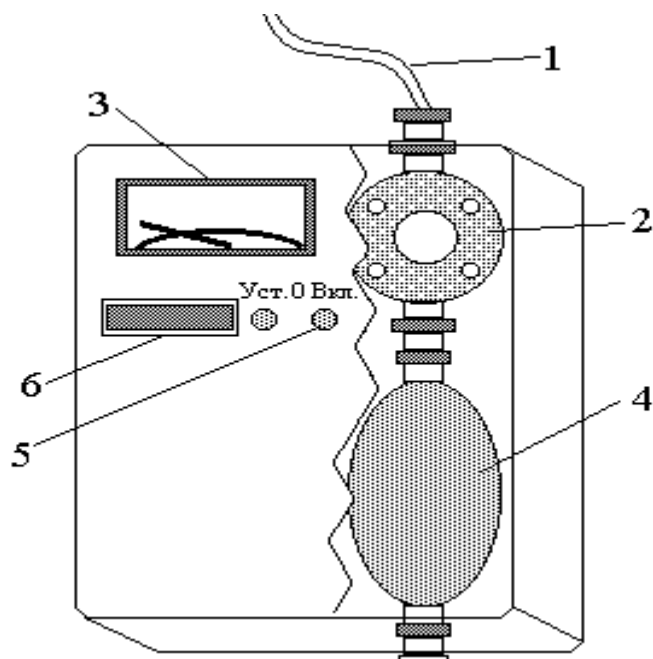
2.3. Фактична об'ємна концентрація пари:

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

$$\varphi_{\text{факт}} = \varphi_{\text{факт}} \frac{V_{\mu}}{10\mu} \dots, \quad \%$$

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

## Устрій приладу



- 1. .... ;
- 2. .... ;
- 3. .... ;
- 4. .... ;
- 5. .... ;
- 6. .... ;

### Порядок проведення дослідження:

- 1. ....  
.....
- 2. ....  
.....
- 3. ....  
.....
- 4. ....  
.....



**РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ**  
картка №.....

Задача № 1: .....

.....

**Рішення:** .....

.....

Задача № 2: .....

.....

**Рішення:** .....

.....



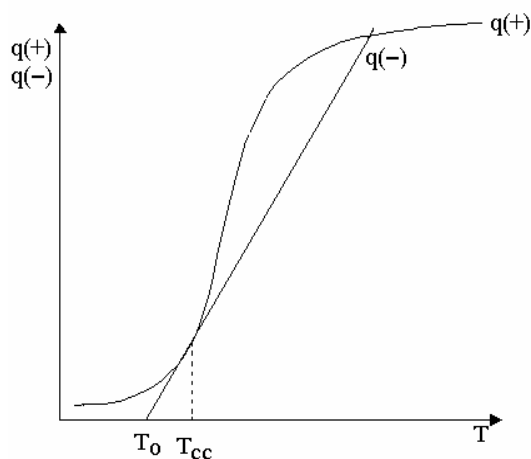
# САМОСПАЛАХУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СИСТЕМ

## Теоретичне обґрунтування роботи

Процес окиснення, який самостійно прискорюється і переходить від повільної реакції до миттєвої, називають горінням. Виникнення горіння пов'язане із накопиченням в системі тепла або активних центрів полум'я. Виникає або тепловий механізм виникнення горіння, або –ланцюговий. Теплова теорія пояснює поширення горіння передачею тепла із зони реакції у горючу суміш, ланцюгова теорія – дифузією активних центрів у вихідну горючу суміш. Залежно від початкових умов у горючій системі та природи теплового імпульсу розрізняють 3 види виникнення горіння: *самоспалахування, самозаймання, вимушене запалювання.*

*Самоспалахування* полягає в тому, що вся горюча суміш нагрівається до такої температури, вище за яку вона самостійно, без додаткового зовнішнього впливу, займається. Здатність речовини до самоспалахування визначає температура самоспалахування.

**Температура самоспалахування ( $T_{cc}$ )** це найменша температура горючої системи (ГС), за якої різко збільшується швидкість екзотермічної реакції, що приводить до полум'яного горіння. За цієї температури існують граничні умови у горючій системі, за яких може відбутися зрушення теплової рівноваги між інтенсивністю тепловиділення  $q(+)$  у ГС та тепловіддачі  $q(-)$  від неї через стінки у навколишній простір із запалюванням суміші.



У точці дотику (за  $t = t_{cc}$ ) виконуються наступні умови:  $q(+)=q(-)$ ;

$$\left. \frac{dq(+)}{dT} \right|_{T_{cc}} = \left. \frac{dq(-)}{dT} \right|_{T_{cc}} ; \left. \frac{d^2q(+)}{dT^2} \right|_{T_{cc}} > 0$$

На  $t_{cc}$  горючої речовини впливають три групи факторів: 1) вид горючої речовини, 2) склад ГС (концентрація пального, окисника, негорючих газів, каталізаторів, інгібіторів), 3) умови у ГС (температура стінок посудини, тиску в системі).

Поява полум'я у ГС відбувається не в момент розігріву її до  $t_{cc}$ , а через деякий проміжок часу. Протягом цього часу ГС самостійно розігрівается від температури стінок посудини  $T_0$  до появи полум'яного горіння. Такий відрізок часу називають періодом індукції теплового вибуху. Тривалість цього періоду залежить від виду горючої речовини, складу ГС,



умов у ГС. Чим нижче температура початкового розігріву системи, тим більший період індукції. У досліді за температуру самоспалахування приймають ту температуру стінок посудини, за якої період індукції є максимальним.

Експериментально  $t_{cc}$  можна визначити різними методами: 1) метод впускання заздалегідь готової холодної суміші у вакуумовану нагріту посудину; 2) метод адіабатичного стиснення ГС; 3) метод «краплі», коли ГС утворюється в нагрітій посудині за рахунок випаровування горючої речовини.

Оскільки  $t_{cc}$  не є величиною постійною і може змінюватися за зміни умов, то для можливості порівняння пожежної небезпеки декількох речовин, необхідно порівнювати їх  $t_{cc}$  за однакових (стандартних) умов. Для проведення пожежно-технічних досліджень застосовують установку СТС (стандартна температура самоспалахування).

Значення  $t_{cc}$  використовують при розробці заходів щодо забезпечення пожежної та вибухової безпеки технологічних процесів. Враховуючи можливість зміни  $T_{cc}$  за зміни умов у системі визначають робочу (безпечну) температуру:

$$t_{безп} = 0,8t_{cc},$$

яка показує максимальне допустиме значення температури поверхні технологічного обладнання або навколишнього середовища, за якої процес самоспалахування ще неможливий.

$t_{cc}$  обернено пропорційна довжині молекули (карбонového ланцюга). Для ізомерних (розгалужених) молекул необхідно визначати їх середню довжину. Причиною похибок при розрахунку  $t_{cc}$  речовин є неточність визначення середньої довжини молекули  $l_{сер}$ . Це зумовлено тим, що стандартні методики опосередковано враховують ефекти перерозподілу електронної щільності у молекулі (мезомерний та індукційний). Дія ефектів по карбонівому ланцюгу вуглеводнів поширюється не більше ніж до п'ятого атому карбону від функціональної групи по безперервному ланцюгу зв'язків. Сукупна дія означених ефектів визначає відмінність окремих класів речовин у реакційній здатності і у значенні  $t_{cc}$ . Наприклад, у молекулах кетонів  $R-\overset{\overset{O}{||}}{C}-R$  та складних ефірів  $R_{сп}-O-\overset{\overset{O}{||}}{C}-R_k$  присутні мезомерний ефект в обидва боки від групи  $C=O$  до п'ятого атому карбону й індукційний ефект. Молекула набуває підвищеної здатності до опору температурному впливу до десяти атомів карбону в ланцюгу. Тому середня довжина кетонів становить половину від числа атомів карбону у молекулі  $m_c: l_{сер} = m_c/2$ . У молекулах із середньою довжиною більшою за «10» є незначне зростання  $t_{cc}$ , що пов'язано із завершенням дії електронних ефектів і виникненням в середині молекули області зі стабільною електронною щільністю.

У альдегідів накладання електронних ефектів знижує стійкість молекули і значно збільшує їх середню довжину за умови, що  $\ell_{\text{сер}} = 3m_{\text{с}} + 1$ .

У молекулах спиртів присутні мезомерний та індуктивний ефект; можливе розташування алкільних та -ОН груп у бокових положеннях, що ускладнює врахування електронних ефектів. У порівнянні з алканами група -ОН змінює перерозподіл електронної щільності за рахунок від'ємного мезомерного та індуктивного ефектів. Але цей ефект слабкіший ніж в групи C=O кетонів та альдегідів. Якщо молекула спирту має в сусідніх ізомерних положеннях алкільну і гідроксильну групи то електронні ефекти компенсуються і молекула поводить себе як така, що має лише головний ланцюг. Взаємно компенсуються електронні ефекти гідроксильних груп і в діолів нормальної будови. Тому для розрахунку середньої довжини молекули спирту з  $m_{\text{сп}} < 5$  прийнята наступна формула:  $\ell_{\text{сер}} = (m_{\text{сп}} + m_{\text{ссер}})/2 - (3n_{\text{гр}} - 2)/n_{\text{с}}$ .

Якщо максимальна довжина гідроксильно-карбонового ланцюга молекули  $m_{\text{сп}} \geq 5$ , то  $\ell_{\text{сер}}$  молекули одноатомного спирту ізомерної будови приймають за довжиною цього ланцюга; для карбінолів та багатоатомних спиртів – за середнім значенням між найдовшими карбоновим та найменшим гідроксильно-карбоновим (між групами -ОН) ланцюгами. Якщо багатоатомний спирт має більш ніж один ізомерний карбоновий ланцюг, додатково враховують найдовший карбоновий ланцюг такої молекули.

Якщо молекула має -ОН та метилову групи у сусідніх положеннях, а також більше ніж 3 атоми карбону в ланцюгу від групи -ОН, то  $\ell_{\text{сер}}$  молекули спирту приймають за найдовшим карбоновим ланцюгом.

Для простих ефірів нормальної будови, як і для алканів, мінімум стійкості спостерігається для молекул з  $\ell_{\text{сер}} = 10$ , якщо довжину молекули прийняти за принципом:  $\ell_{\text{сер}} = 2 + m_{\text{с}}$ , де 2 – еквівалентна довжина групи -O-:  $t_{\text{сс}}$  простих ефірів ізомерної будови можна визначити за методикою для спиртів ізомерної будови в залежності від максимальної довжини гідроксильно-карбонового ланцюга.

**РОБОТА № 3**  
**ВИЗНАЧЕННЯ СТАНДАРТНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ**  
**САМОСПАЛАХУВАННЯ**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

.....

**Речовина, що досліджується :** .....

**Умови проведення досліджу:**

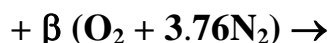
- Температура: .....°C;

- Атмосферний тиск: .....кПа;

**РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

1. Розрахунок стехіометричної концентрації

1.1. Складання рівняння реакції горіння:



$$\beta =$$

1.2. Розрахунок молярного об'єму при заданих умовах:

$$V_{\mu} = 22,4 \frac{101,3\text{Т}}{273\text{Р}} = \dots\dots\dots, \text{М}^3 \cdot \text{КМОЛЬ}^{-1}.$$

1.3. Розрахунок об'ємної та масової стехіометричної концентрації:

$$\Phi_{\text{СТМ}} = \frac{100}{1 + 4,76\beta} = \dots\dots\dots, \%$$

$$\Phi'_{\text{СТМ}} = \Phi_{\text{СТМ}} \frac{10\mu}{V_{\mu}} = \dots\dots\dots, \text{Г} \cdot \text{М}^{-3}.$$

2. Розрахунок об'єму рідини для створення стехіометричної концентрації у реакційній колбі:

$$V_{\text{колби}} = \dots\dots\dots \text{МЛ}; \rho_{\text{рід}} = \dots\dots\dots \text{Г} \cdot \text{М}^{-3}.$$

$$V_{\text{рід}} = \frac{V_{\text{колб}} \cdot \Phi'_{\text{СТМ}}}{\rho_{\text{рід}}} = \dots\dots\dots, \text{МЛ}.$$

### 3. Розрахунок стандартної температури самоспалахування

#### 3.1. За структурною формулою речовини.

Структурна формула речовини:

Число кінцевих груп:  $m =$

Число ланцюгів:  $n = \frac{m(m-1)}{2} =$

Розрахунок довжини окремих ланцюгів:

№ ланцюга	послідовність атомів карбону	довжина ланцюга
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		

Розрахунок середньої довжини карбонового ланцюга:

$$l_{\text{сер}} =$$

Визначення стандартної температури самоспалахування за таблицями (додатки № 3, 4)

$$t_{\text{cc}} = \quad \text{°C.}$$

3.2. Розрахунок стандартної температури самоспалахування за константами гомологічного ряду:

$$t_{\text{cc}}^{\text{алк}} = \dots, a = \dots, b = \dots$$

$$t_{\text{cc}} = a \cdot t_{\text{cc}}^{\text{алк}} + b = \dots$$

4. Розрахунок безпечної температури нагріву робочих поверхонь:

$$t_{\text{без}} = \dots \text{°C.}$$

## 5. Визначення групи вибухонебезпечних сумішей за величиною

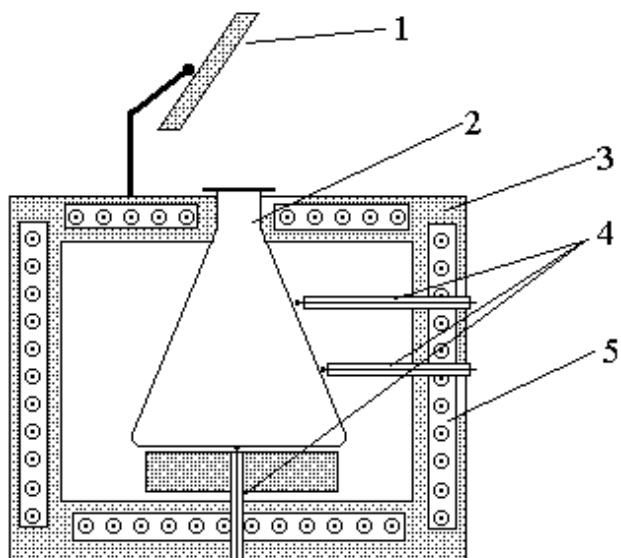
$t_{cc}$ :.....

.....

.....

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Схема лабораторної установки



1 \_\_\_\_\_

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_

5 \_\_\_\_\_

### Порядок проведення дослідження:

1. ....

.....

2. ....

.....

3. ....

.....

4. ....

.....

5. ....

.....

6. ....

.....

7. ....

.....



**РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ**  
**картка №.....**

Задача № 1: .....

.....  
.....

Рішення: .....

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Задача № 2: .....

.....  
.....

Рішення: .....

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....





## САМОЗАЙМАННЯ ТВЕРДИХ СИСТЕМ

### Теоретичне обґрунтування роботи

Всі горючі речовини за контакту з повітрям за певних температур починають окислюватися з виділенням тепла. У разі перевищення швидкості тепловиділення екзотермічних процесів над швидкістю тепловіддачі у навколишнє середовище виникає процес накопичення тепла – *самонагрівання* частини горючої системи, яке за критичної температури призводить до появи горіння. Найменша температура речовини, за якої виникає її самонагрівання, називається *температурою самонагрівання*.

*Самозаймання* є одним із видів виникнення горіння. Для всіх видів виникнення горіння виконуватися три умови:

- в системі протікають процеси з виділенням тепла, а інтенсивність тепловиділення перевищує інтенсивність тепловіддачі;
- самонагрівання розігріває горючу систему до критичної температури, за якої швидкість окиснення різко збільшується;
- досягнення критичного значення температури відбувається за певний час – період індукції.

Але існують *відмінності* процесу самозаймання від самоспалахування, що робить його окремим видом виникнення горіння:

1. При самозайманні нагрів системи відбувається за наявності первинного теплового імпульсу всередині системи, який викликає проходження хімічної реакції окислення горючої речовини, при цьому температурний режим у якому знаходиться горюча система забезпечує процес накопичення тепла всередині системи. Без акумуляції тепла самозаймання неможливе.

2. Горіння виникає не в усій системі, як за самоспалахування, а тільки у тій частині горючої системи, яка має найменшу тепловіддачу, – в осередку самозаймання.

3. До самозаймання схильні лише речовини, які мають низьку температуру самонагрівання; чим вона нижче, тим більша небезпека виникнення процесу самозаймання.

4. Самозаймання може виникнути і без переходу конденсованої горючої речовини в паро-газоподібний стан. У такому випадку виникає тління – дифузійне гетерогенне горіння.

5. Самонагрівання матеріалу перед самозайманням триває достатньо довго, оскільки лише внутрішні екзотермічні процеси призводять до підвищення температури системи. Тому період індукції при самозайманні значно більший, ніж при самоспалахуванні, і може досягати тижнів і навіть місяців.

Хімічні умови самонагрівання речовини визначаються концентраціями початкових і кінцевих речовин, енергією активації молекул і вільних

радикалів, що утворюються, тепловим ефектом реакції, залежністю швидкості реакції від температури й ін.

Фізичні умови самонагрівання речовини визначені теплофізичними параметрами реагуючих речовин, станом навколишнього середовища і фізичними процесами, які протікають в системі (тертя, дифузія, випаровування, конденсація та ін.).

Фізичний стан реагуючих речовин визначається такими чинниками, як величина і геометрична форма скупчення матеріалу, дисперсність, пористість часток, питома поверхня часток, кількість повітря у шарі матеріалу, вологість, густина та ін.

Стан навколишнього середовища визначається його складом, температурою і гідродинамічними умовами тепло- і масообміну на межі горючої системи із навколишнім середовищем.

Залежно від причини, що викликає процес первинного самонагрівання речовини, розрізняють *чотири види самозаймання: мікробіологічне, хімічне, фізичне; теплове.*

Для *теплого самозаймання* розрахункове визначення температури самонагрівання і часу нагріву матеріалу до небезпечної температури проводять за формулами С.І. Таубкіна, які враховують зміну температури самонагрівання від геометричних розмірів скупчення матеріалу, що зберігається:

$$\lg t_{\text{сн}} = A_p + n_p \lg S_{\text{пит}}$$

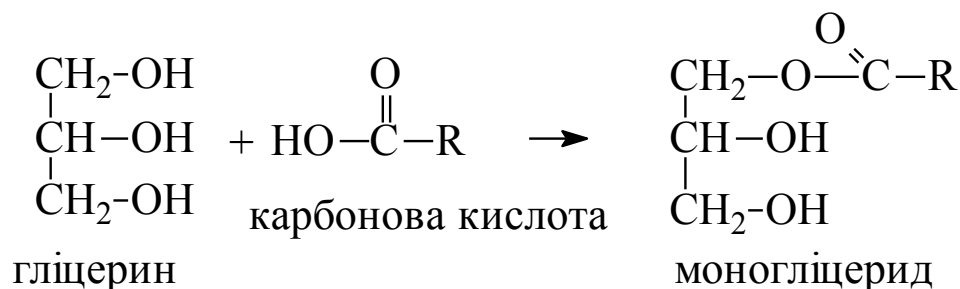
та періоду індукції від температури самонагрівання:

$$\lg t_{\text{сн}} = A_b - n_b \lg \tau_{\text{інд}}$$

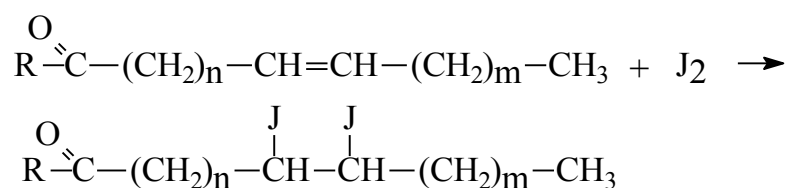
де  $t_{\text{сн}}$  – температура теплового самонагрівання, С;  $\tau_{\text{інд}}$  - час теплового впливу до самозаймання, годин;  $A_p, n_p, A_b, n_b$  – емпіричні константи рівнянь для ряду речовин отримані експериментальним шляхом, наведені у довідниках.

Поширеним видом *хімічного самозаймання* є самозаймання жирів і олій. Природні жири є складними ефірами карбонових кислот із гліцерином. Залежно від числа карбонових кислот, з'єднаних із гліцерином розрізняють моно-, ди-, тригліцериди.

Основою хімічного самозаймання є виділення тепла у результаті окиснення й полімеризації ненасичених зв'язків радикалів карбонових кислот які входять до складу жиру.



Число ненасичених зв'язків у складі жиру визначають реакцією із йодом за параметром «йодне число». Реакцію приєднання йоду до подвійного зв'язку вуглеводневого радикалу карбонової кислоти можна представити наступною схемою:



Чим більше число подвійних зв'язків у радикалі карбонової кислоти, тим більша здатність жиру до самозаймання.

**Йодне число** показує максимальну кількість грамів йоду, що може приєднатися до 100 грамів олії. Якщо йодне число більше за 50 роблять висновок про здатність жиру до самозаймання.

Здатність жирів до самозаймання можна встановити й за здатністю обмасленого матеріалу до самонагрівання: просочену жиром вату поміщають у водяний термостат (прилад Маккея). Перевищення температури вати над температурою термостату свідчить про наявність процесу самонагрівання і, відповідно, про здатність даного жиру до хімічного самозаймання.

**РОБОТА № 4**  
**ВИЗНАЧЕННЯ СХИЛЬНОСТІ ОЛІЇ ДО САМОЗАЙМАННЯ**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

**Речовина, що досліджується :**.....

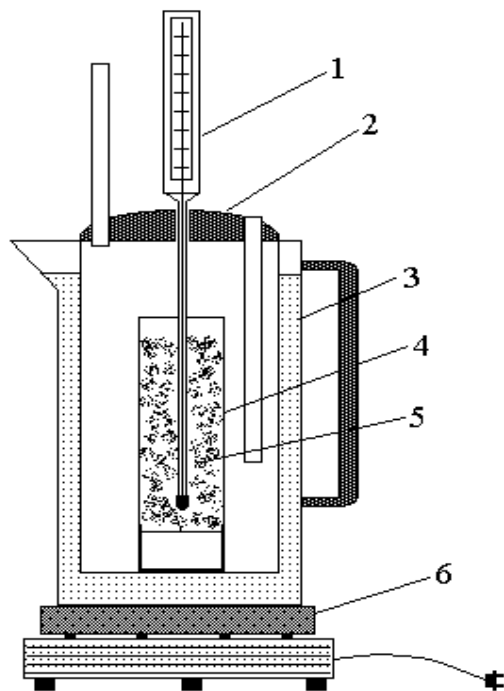
**Умови проведення досліду:**

Температура: .....°С;

Атмосферний тиск: .....кПа

Експериментальна частина

Схема лабораторної установки



- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_
- 6 \_\_\_\_\_

**Порядок проведення дослідження:**

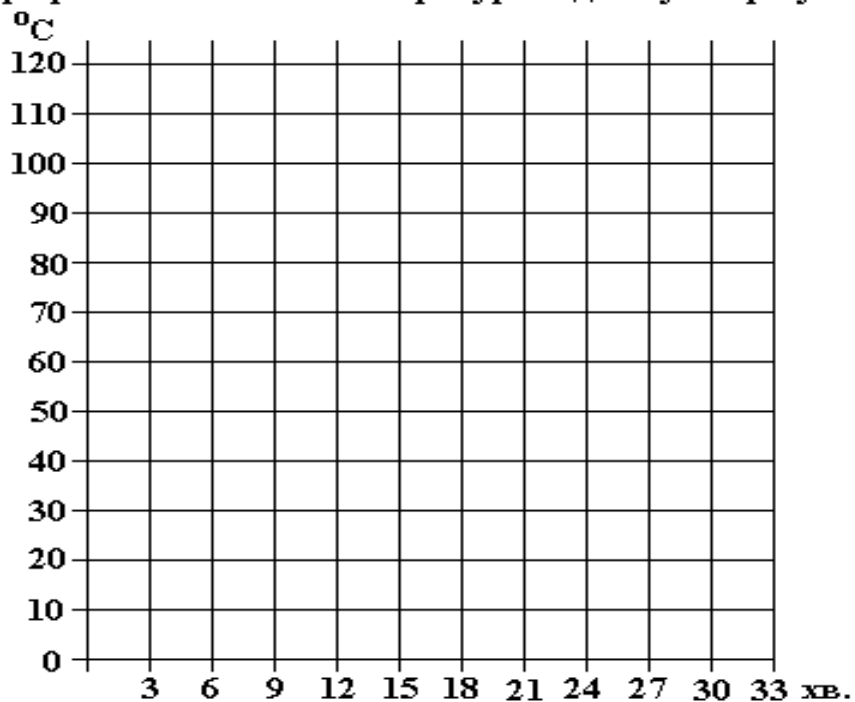
- 1. ....
- .....
- 2. ....
- .....
- 3. ....
- .....

- 4.....  
 .....  
 5.....  
 .....  
 6.....  
 .....  
 7.....  
 .....  
 8.....  
 .....

Таблиця результатів досліду

Час, хв.	Температура, °С		Час, хв.	Температура, °С	
	термостат	вата		термостат	вата
0			18		
3			21		
6			24		
9			27		
12			30		
15			33		

Графік залежності температури від часу нагріву





Задача № 2:

Рішення:

1.  $S_{\text{питт}} =$  ,  $\text{л} \cdot \text{м}^{-1}$ ;

2.  $A_p =$  .....  $n_p =$  .....  $A_b =$  .....  $n_b =$  .....

3.  $\lg t =$  ;

4.  $t =$  , °C;

5.  $\lg \tau =$  ;

6.  $\tau =$  , годин.

**Висновок:**

Задача № 3:

**Методика розрахунку**

1. Встановити тип та вміст гліцеридів у складі олії; розрахувати молярну масу кожного гліцериду у складі олії  $\mu_i$ .
2. Визначити вуглеводневий радикал гліцериду:  $R = C_nH_m$ .
3. Розрахувати число атомів гідрогену  $x$  яких не вистачає для насиченого стану радикалу карбонової кислоти:  $x = 2n+1-m$ .
4. Розрахувати число ненасичених зв'язків  $z$  у вуглеводневому радикалі даного гліцериду  $z = x \cdot 0,5$ .
5. Визначити число ненасичених зв'язків у складі кожного гліцериду  $Z_i = k \cdot z$ , де  $k$  – число радикалів карбонової кислоти.
6. Визначити йодне число кожного гліцериду в олії:

$$J_{\text{ч}} = \frac{254 \cdot Z_i \cdot 100}{\mu_i}, \text{ Г},$$

де 254 – молярна маса молекули йоду, г/моль.

7. Визначити йодне число олії за йодними числами та концентраціями компонентів  $\varphi_i$ :

$$J_{\text{ч}} = \sum J_{\text{ч}i} \frac{\varphi_i}{100}, \text{ Г}.$$

8. Зробити висновок про схильність жиру до самозаймання.

### Рішення:

1. Розраховуємо молярну масу гліцеридів в складі жиру:

$\mu_1 = \dots\dots\dots$  Г/моль;

$\mu_2 = \dots\dots\dots$  Г/моль;

$\mu_3 = \dots\dots\dots$  Г/моль.

2. Визначаємо вуглеводневі радикали у складі гліцериду:

$R_1 = \dots\dots\dots$ ;  $R_2 = \dots\dots\dots$ ;  $R_3 = \dots\dots\dots$ ;

3. Визначаємо нестачу атомів гідрогену у радикалі:

$x_1 = \dots\dots\dots$ ;  $x_2 = \dots\dots\dots$ ;  $x_3 = \dots\dots\dots$

4. Визначаємо число ненасичених зв'язків  $z$  у радикалі:

$z_1 = \dots\dots\dots$ ;  $z_2 = \dots\dots\dots$ ;  $z_3 = \dots\dots\dots$ ;

5. Визначаємо число ненасичених зв'язків у гліцериді:

$Z_1 = \dots\dots\dots$ ;  $Z_2 = \dots\dots\dots$ ;  $Z_3 = \dots\dots\dots$ ;

6. Визначаємо йодне число кожного гліцериду:

$J_{\text{ч}1} = \dots\dots\dots$ ;  $J_{\text{ч}2} = \dots\dots\dots$ ;  $J_{\text{ч}3} = \dots\dots\dots$

7. Визначаємо йодне число олії:

$J_{\text{ч(олії)}} = \dots\dots\dots$

**Висновок:** .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## ГОРІННЯ ГАЗІВ

### Теоретичне обґрунтування роботи

Горіння газів, парів рідин, летючих продуктів розкладання твердих речовин є гомогенним і залежно від способу утворення горючої суміші може бути кінетичним або дифузійним.

Горіння готової горючої суміші є кінетичним. Швидкість такого горіння визначається кінетикою реакції горіння, а тому сильно залежить від температури. Гарячі продукти згорання розширюються; у замкненому об'ємі або за горіння з великою швидкістю виникає ефект підвищення тиску. Залежно від тиску продуктів горіння розрізняють такі *види кінетичного горіння* як "спалах", "хлопок" і "вибух".

*Спалах* – швидке згорання газоповітряної суміші у відкритому просторі без збільшення тиску продуктів згорання.

*Хлопок* – швидке згорання газоповітряної суміші у закритому просторі з незначним підвищення тиску, яке викликає лише звуковий ефект без руйнування конструкцій.

*Вибух* – це швидке згорання з виділенням значної кількості енергії й утворенням стиснених газів, здатних виконувати роботу. Вибух має більшу швидкість поширення фронту полум'я і різку зміну тиску, достатню для руйнування обладнання і конструкцій.

Згорання горючої суміші з великою швидкістю реакції відбувається без теплового розширення і без зміни об'єму середовища, тому розрахунок тиску при вибуху можна провести за формулу:

$$P_{\text{виб}} = \frac{P_0 n_{\text{пг}}^0 T_{\text{виб}}}{n_{\text{гс}}^0 T_0}, \text{ кПа,}$$

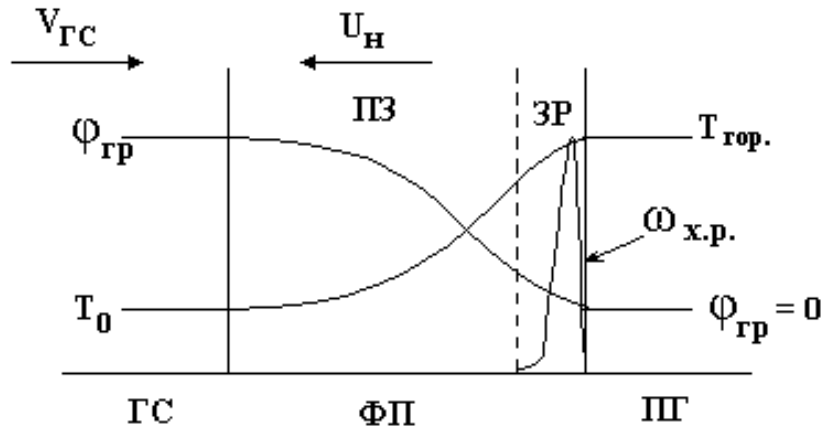
де  $T_0, P_0$  - початкові температура і тиск горючої суміші;  
 $T_{\text{виб}}, P_{\text{виб}}$  - температура і тиск продуктів горіння;  
 $n_{\text{гс}} = 1 + 4,76 \beta$  - число молів горючої суміші, моль;  
 $n_{\text{пг}}$  - число молів продуктів горіння, моль.

Із формули видно, що тиск при вибуху залежить від виду горючої речовини, початкових умов в системі і температури вибуху. При вибуху стехіометричної суміші температура горіння має найбільше значення, отже, і тиск вибуху буде максимальним.

Розглянемо розподіл температури і концентрації горючої речовини у плоскому фронті полум'я і прилеглому просторі.

У вихідній суміші концентрація горючого компонента та температура мають початкові значення. У фронті полум'я концентрація реагентів знижується внаслідок розбавлення продуктами горіння й витрачанням у хімічній реакції. Температура внаслідок теплопровідності плавно

зростає від початкової  $T_0$  до температури горіння  $T_{гор}$ . У вузькій зоні відбуваються різкі зміни у газовій суміші. Швидкість реакції окиснення різко прискорюється за критичної температури. За її досягненням фронт полум'я поділяють на **підготовчу зону** та **зону реакції**.



На швидкість поширення фронту полум'я діють два визначальних чинники: швидкість потоку горючого газу і нормальна швидкість горіння – стала, характерна для даної горючої суміші.

**Нормальна швидкість горіння  $u_n$**  – швидкість, з якою рухається фронт полум'я відносно нерухомого горючого газового середовища лише за рахунок теплопровідності.

Розширення гарячих продуктів горіння дає додаткове зміщення поверхні горіння, тому видима швидкість поширення фронту полум'я стає більшою за *нормальну*. Викривлення плоского полум'я збільшує його поверхню, тому швидкість полум'я зростає далі. На наступному етапі турбулізація різко інтенсифікує масообмін. і Таким чином, швидкість горіння пропорційна нормальній швидкості горіння і відносному збільшенню поверхні горіння.

Знання швидкості поширення полум'я дозволяє визначити безпечні швидкості газоповітряних потоків в трубопроводах, де транспортуються горючі газо- пароповітряні суміші.

**РОБОТА № 5**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ ФРОНТУ ПОЛУМ'Я**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

**Речовина, що досліджується :**.....

**Умови проведення дослідю:**

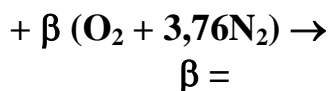
Температура: .....°С;

Атмосферний тиск: .....кПа

**РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

1. Розрахунок об'ємних та масових концентраційних меж поширення полум'я та стехіометричної концентрації

1.1. Рівняння реакції горіння:



1.2. Розрахунок об'ємних КМПП:

$\varphi_{\text{H}} =$ ....., %,

$\varphi_{\text{B}} =$ ....., %,

1.3. Розрахунок об'ємної стехіометричної концентрації:

$\varphi_{\text{СТМ}} =$ ....., %.

1.4. Розрахунок молярного об'єму газу за даних умов:

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

1.5. Розрахунок масових концентрацій ( $\varphi' = \varphi \cdot \frac{10\mu}{V_{\mu}}$ ):

$\varphi'_{\text{СТМ}} =$ .....;  $\text{Г} \cdot \text{M}^{-3}$ ,

$$\varphi'_H = \dots\dots\dots, \text{Г}\cdot\text{М}^{-3}.$$

$$\varphi'_B = \dots\dots\dots \text{Г}\cdot\text{М}^{-3}.$$

2. Розрахунок об'єму рідини, що вводиться в трубу:

$$l_{\text{тр}} = \quad \text{м}; \quad d_{\text{тр}} = \quad \text{м}; \quad \rho_{\text{рід}} = \quad \text{кг}\cdot\text{М}^{-3}.$$

$$V_{\text{труби}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = \dots\dots\dots \text{М}^3$$

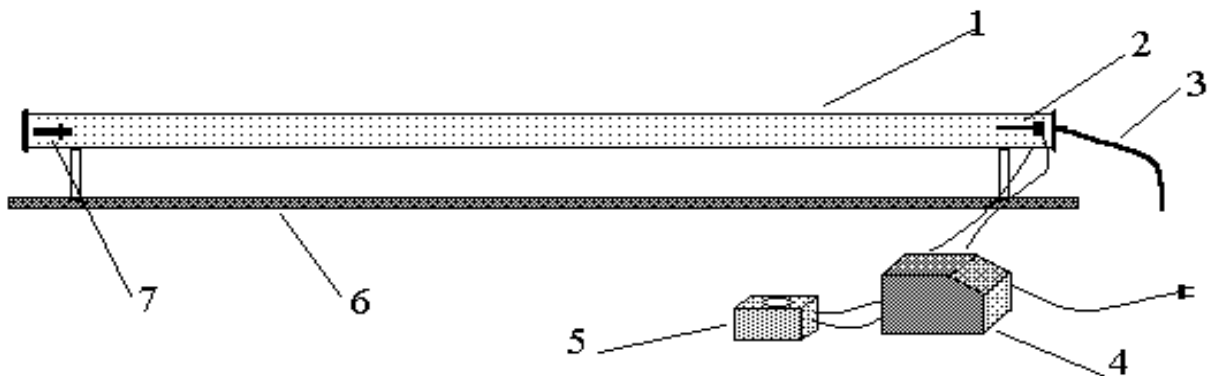
$$V_{\text{рід(н)}} = \frac{V_{\text{труби}} \varphi'_H}{\rho_{\text{рід}}} = \dots\dots\dots, \text{МЛ.}$$

$$V_{\text{рід(в)}} = \frac{V_{\text{труби}} \varphi'_B}{\rho_{\text{рід}}} = \dots\dots\dots, \text{МЛ.}$$

$$V_{\text{рід(стм)}} = \frac{V_{\text{труби}} \varphi'_{\text{стм}}}{\rho_{\text{рід}}} = \dots\dots\dots, \text{МЛ.}$$

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### Схема лабораторної установки



- 1. ....;
- 2. ....;
- 3. ....;
- 4. ....;
- 5. ....;
- 6. ....;
- 7. ....;

### Порядок проведення дослідження:

1. ....
2. ....
3. ....
4. ....

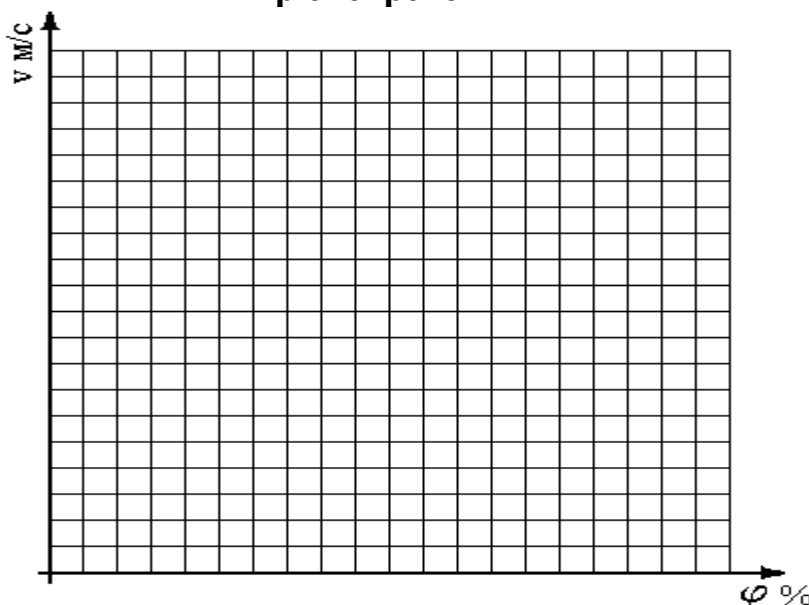
Таблиця результатів дослідів

№	Об'єм рідини $V_{\text{рід}}$ , мл	Час $\tau$ , с	Швидкість руху по- лум'я, $u_{\text{фп}}$ , м·с <sup>-1</sup>	Концентрація пари	
				$\varphi'$ , г·м <sup>-3</sup>	$\varphi$ , %
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Розрахунок фактичної концентрації речовини у трубі:

$$\varphi'_{\text{стм}} = \frac{V_{\text{рід(стм)}} \rho_{\text{рід}}}{V_{\text{труби}}}, \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}; \quad \varphi_{\text{факт}} = \varphi'_{\text{факт}} \frac{V_{\mu}}{10\mu}, \%$$

Графік залежності швидкості руху фронту полум'я від концентрації горючої речовини



**Висновок:** .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**РОЗВ’ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ**  
**картка №.....**

Задача № 1: .....

.....

.....

.....

.....

Рішення: .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Задача № 2: .....

.....

.....

.....

Рішення:

1.  $(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow$

2.  $n_{гс}^0 = \dots\dots\dots$ ;

3.  $n_{пг}^0 = \dots\dots\dots$ ;

4.  $Q_H = \left| \sum \Delta H_{f,i}^0 n_i - \Delta H_f^0 \right| = \dots\dots\dots$   
 $\dots\dots\dots \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1},$

5.  $U_{виб} = Q_H + RT\Delta n = \dots\dots\dots \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1};$

6.  $U_{ср} = \frac{U_{виб}}{n_{пг}^0} = \dots\dots\dots \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1};$

7.  $T_1 =$

8.  $U_{пг1}^{T1} = \sum U_i^{T1} n_{пгi} = \dots\dots\dots$

$\dots\dots\dots \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1};$

9.  $T_2 =$

10.  $U_{пг2}^{T2} = \sum U_i^{T2} n_{пгi} = \dots\dots\dots$   
 $\dots\dots\dots \text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1};$

11.  $T_{виб} = T_1 + \frac{(T_2 - T_1)(U_{виб} - U_{пг1})}{(U_{пг2} - U_{пг1})} =$

$\dots\dots\dots \text{К};$

12.  $P_{max} = \frac{P_0 n_{пг}^0 T_{виб}}{n_{гс}^0 T_0} = \dots\dots\dots \text{кПа}.$

**Висновок:**.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА РІДИН

### Теоретичне обґрунтування роботи

Горіння рідин можливе тільки у паровій фазі, тобто є гомогенним. Рідина може випаровуватися у відкритий або закритий простір. При досить тривалому випаровуванні в закритому просторі встановлюється динамічна рівновага – стан системи, при якому кількість рідини, що випаровує, дорівнює кількості сконденсованої пари. Тобто скільки речовини випарується, стільки ж переходить назад із газової фази у рідку. Досягається стан насичення газової фази паром рідини. Пара, яка є при динамічній рівновазі в системі, називається *насиченою паром*.

Таким чином, тиск насиченої пари залежить від температури і властивостей рідини і не залежить від кількості рідини або площі її випаровування. 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;
- при розрахунку критичних температур рідини, яка міститься в закритому технологічному обладнанні.

Для того, щоб визначити зв'язок між температурою рідини та концентрацією насиченої пари, яка утворюється над поверхнею рідини за цієї температури можна скористатись рівнянням Антуана.

$$t = \frac{B}{A - \lg P_{\text{нп}}} - C_a = \frac{B}{A - \lg(0,01 P_{\text{заг}} \Phi_{\text{нп}})} - C_a,$$

де **A, B, C<sub>a</sub>** – константи Антуана;  
**Φ<sub>нп</sub>** – концентрація насиченої пари, %;  
**P** – атмосферний тиск, кПа..

За певних температур концентрація насиченої пари рідини стає рівною нижній або верхній концентраційній межі поширення полум'я. Таким чином, пожежну небезпеку горючих рідин можна оцінювати не за концентрацією її пари, а за температурою 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.

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



утворює насичену пару, яку в закритому об'ємі запалити теж неможливо, тобто кінетичного вибухового горіння не буде. Однак такі суміші можуть горіти в дифузійному режимі в разі виходу із закритої ємності. Тому насичена пара в даній області температур є вибухобезпечною, але пожежо-небезпечною.

Величини температурних меж, так само як і концентраційних, не є постійними величинами і залежать від ряду чинників.

Величини температурних меж використовують для:

1) проведення порівняльної оцінки ступеня пожежної небезпеки рідин;

2) визначення ступеня пожежної небезпеки насиченої пари за фактичної температури;

3) визначення області вибухобезпечних температур в роботі технологічного обладнання.

Для безпечної роботи, температурний режим апаратів повинен забезпечувати такі робочі концентрації рідин, які будуть знаходитися поза зоною небезпечних концентрацій. Таким чином **робочі безпечні температури** повинні бути нижче нижньої безпечної або вище верхньої безпечної ТМПП:  $t_{нб} > t_{роб.без.} > t_{вб}$

$$t_{нбез} = 0,9(t_n - K_6)$$

$$t_{вбез} = 1,1(t_v + K_6)$$

де  $K_6 = 10,5 \text{ }^\circ\text{C}$  для індивідуальних речовин і нафтопродуктів,

$K_6 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  для технічних і реакційних сумішей.

Процес займання горючої рідини при випаровуванні у відкритий простір має відмінності від займання її пари в закритих об'ємах. При випаровуванні рідин у відкритий простір молекули пари постійно дифундують в навколишнє середовище, динамічна рівновага не встановлюється, а пара, що утворюється, є ненасиченою. В разі піднесення джерела запалення до поверхні рідин із концентрацією парів над поверхнею не менше ніж нижня концентраційна межа виникає їх спалах.

**Спалах** – швидке кінетичне згоряння газопароповітряної суміші над поверхнею горючої рідини, що супроводжується короткочасним видимим свіченням. Однак стійке горіння не встановлюється, тому що швидкість випаровування рідини за даної температури менше за швидкість вигорання пари. Таку температуру рідини називають температурою спалаху.

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

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

Рідина температура якої нижче ніж температура спалаху не являє пожежної небезпеки у разі короточасного впливу джерела запалювання.

Температура спалаху прийнята за основу класифікації рідин за ступенем їх пожежної небезпеки. Розрізняють горючі і легкозайmistі рідини. До горючих (ГР) відносять рідини із температурою спалаху в закритому тиглі більше за 61°C. Горючі рідини можуть спалахнути від джерела запалювання тільки за підвищеної температури. Рідини із температурою спалаху в закритому тиглі 61°C і нижче відносять до класу легкозайmistих рідин (ЛЗР). Температура спалаху може змінюватися при зміні зовнішніх умов.

Температуру спалаху можна визначити експериментально, в закритому і відкритому тиглі, і розрахунковими методами.

$$t_{\text{без}} = t_{\text{сп}} - 35, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

На практиці дуже часто доводиться мати справу із різними сумішами рідин, наприклад, при виробництві фарб, лаків, різних розчинників. Суміші такого типу можуть бути утворені або із горючих рідин, або із горючих і негорючих рідин. Існує кілька основних видів сумішей рідин.

Суміш горючих рідин із негорючими (вода із спиртом, бензол із чотирхлористим карбоном) температура спалаху таких сумішей вище за  $t_{\text{сп}}$  горючої рідини в чистому виді.

Температура спалаху суміші двох горючих взаєморозчинних рідин буде залежати від типу суміші, що утворюється. Якщо горючі рідини не утворюють азеотропної суміші, то температура спалаху такого розчину знаходиться між значеннями  $t_{\text{сп}}$  чистих рідин, однак змінюється не пропорційно до вмісту компонентів, а нелінійно. Навіть малі добавки ЛЗР до ГР сильно збільшують пожежну небезпеку суміші. Оцінку нижньої ТМПП бінарної суміші взаєморозчинних рідин, які не утворюють азеотропних складів, можна провести за *апроксимаційною формулою*:

$$t_{\text{м сум}} = \frac{\varphi_A \cdot t_{\text{мА}} + \varphi_B \cdot t_{\text{мВ}} - f(t_{\text{мА}} - t_{\text{мВ}})}{100}, \quad (3.1a)$$

$$\text{або} \quad t_{\text{м сум}} = t_{\text{мА}} - (t_{\text{мА}} - t_{\text{мВ}}) \sqrt[3]{\frac{\varphi_B}{100}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.2б)$$

де А – рідина з більшою ТМПП;  $\varphi_A$ ,  $\varphi_B$  – вміст у суміші, компонента, %;  $t_{\text{мА}}$ ,  $t_{\text{мВ}}$  – нижня або верхня ТМПП компонентів, °C;  $f$  – коефіцієнт нелінійності

залежності за вмістом речовини А, додаток 13.

Усі рідини за температурою кипіння умовно поділяються на **легкокиплячі** і **важкокиплячі**. Визначальним параметром прийнята температура кипіння води – 100°C.

У легкокиплячих рідин теплота пароутворення, теплопровідність і теплоємність незначні. Це обумовлює значну інтенсивність випаровування і незначну швидкість прогріву. При сталому режимі горіння верхній шар рідини нагрівається до  $t_{\text{кип}}$  і спостерігається незначне прогрівання в глибину, що залишається протягом всього часу постійним. При цьому швидкість вигорання буде визначатися швидкістю прогрівання.

$$v_m = v_{\text{прогр}}$$

Якщо теплота пароутворення рідини значна, то швидкість випаровування і швидкість вигорання невеликі і тепло, що сприймається поверхнею рідини від полум'я, в більшій мірі витрачається на нагрівання рідини. Важкокиплячі горючі рідини мають високу в'язкість, велику теплоємність і теплопровідність. У цьому випадку відбувається інтенсивне прогрівання рідини в глибину.

$$v_m < v_{\text{прогр}}$$

З часом рідини, які мають швидкість вигорання меншу, ніж швидкість прогрівання, прогріваються на значну глибину. При цьому утворюється шар з однаковою температурою, близькою до температури кипіння рідини. Через незмінність температури рідини в прогрітому шарі, його називають **гомотермічним**.

**РОБОТА № 6**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ МЕЖ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я**  
**ТА ТЕМПЕРАТУРИ СПАЛАХУ**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

**Речовина, що досліджується :** .....

**Речовина, що досліджується :** .....

**Умови проведення дослідю:**

- Температура: .....°C;
- Атмосферний тиск: .....кПа;

**РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

1. Визначити температурні межі поширення полум'я:
  - 1.1. З урахуванням хімічної структури речовини:  
Структурна формула речовини

**Число зв'язків та їх внесок до ТМПП:**

<b>Зв'язок</b>	<b>Число зв'язків</b>	<b><math>a_j</math> для НТМПП</b>	<b><math>a_j</math> для ВТМПП</b>

$t_{кип} =$

$t_n =$  .....

$t_b =$  .....

1.2. З використанням констант Антуана:

$$A = \dots; B = \dots; C_a = \dots;$$

$$\varphi_H = \dots \%; \varphi_B = \dots \%;$$

$$t_H = \dots$$

$$t_B = \dots$$

2. Граничні робочі температури для рідин за умов зберігання у закритому просторі:

$$t_{н.без.} = \dots$$

$$t_{в.без.} = \dots$$

3. Розрахувати температуру спалаху

1.1. За формулою Еллія  $t_{сп} = t_{кип} - 18\sqrt{K_T}$ , °C.

$$t_{кип} = \dots;$$

$$K_T = 4C + 4S + H + N - 20 - 2Cl - 3F - 5Br = \dots$$

$$t_{сп} = \dots \text{ } ^\circ\text{C}.$$

1.2. За константами гомологічного ряду:

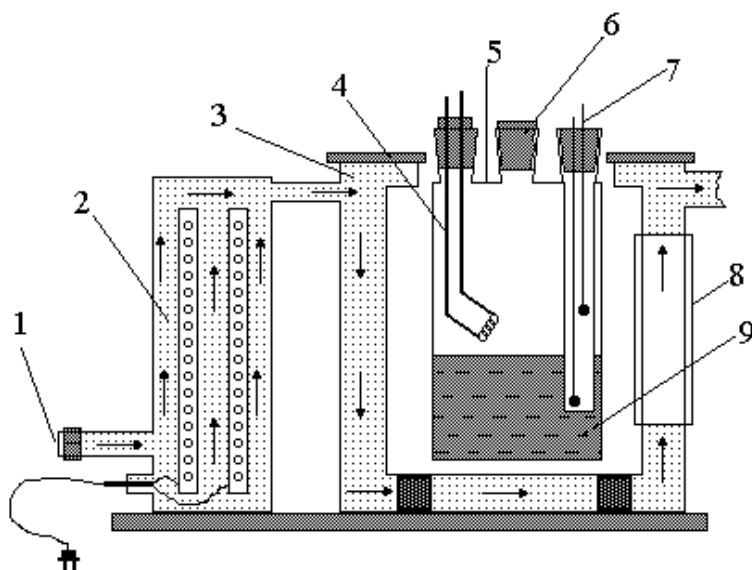
$$a = \dots \quad b = \dots$$

$$t_{сп} = \dots$$

4. Визначити клас пожежної небезпеки рідини та ступінь пожежної небезпеки для фактичних умов зберігання:

.....  
.....  
.....

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА**  
**Устрій приладу для визначення ТМПП**

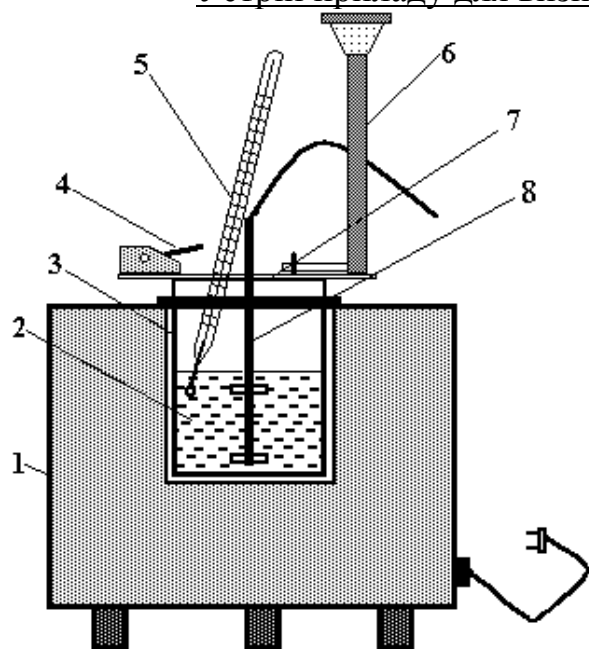


1. ....;
2. ....;
3. ....;
4. ....;
5. ....;
6. ....;
7. ....;
8. ....;
9. ....;

**Порядок проведення дослідження:**

1. ....  
.....
2. ....  
.....
3. ....  
.....
4. ....  
.....
5. ....  
.....
6. ....  
.....

### Устрій приладу для визначення температури спалаху



- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_
- 6 \_\_\_\_\_
- 7 \_\_\_\_\_
- 8 \_\_\_\_\_

#### **Порядок проведення дослідження:**

1. ....
2. ....
3. ....
4. ....
5. ....

#### Таблиця результатів досліду

№	t, °C	результат	№	t, °C	результат
1.			7.		
2.			8.		
3.			9.		
4.			10.		
5.			11.		
6.			12.		

**Висновок:**.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Таблиця результатів досліду

№.	Температура, °С	Результат
7.		
8.		
9.		
10.		
11.		

**Висновок:**.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ**  
картка №.....

Задача № 1: .....

Рішення: .....





## ГОРІННЯ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

### Теоретичне обґрунтування роботи

Твердими називаються матеріали, температура плавлення або розкладання яких перевищує 50°C, та ті, що не мають температури плавлення (деревина, тканини).

Різні тверді горючі матеріали (ТГМ) при нагріванні поведуться по-різному, тому їх поділяють на дві групи – **безгазові** і **ті, що газифікуються**. У свою чергу ТГМ, що газифікуються, поділяють на дві групи за здатністю переходити у паро-газовий стан. ТГМ, які переходять у газоподібний стан через рідку фазу (плавляться за умов підвищеної температури), прийнято **називати твердими горючими матеріалами першого роду**. ТГМ, які переходять в газоподібний стан за рахунок сублімації або термічної деструкції молекулярного складу і при цьому не переходять у рідкий стан, прийнято називати **твердими горючими речовинами другого роду**.

До ТГМ органічного походження відносять целюлозовмісні матеріали та пластмаси. За поведінкою при нагріванні всі полімерні матеріали поділяють на **термопласти** і **реопласти**.

Термопласти мають лінійну будову макромолекули, при нагріві розм'якшуються і плавляться, їх температура займання 300-400°C, в умовах пожежі температура горіння досягає 1600°C. Реопласти мають просторову або розгалужену будову, при нагріві не плавляться, а розкладаються з утворенням твердого вуглецевого залишку. Швидкість їх горіння менша ніж у термопластів.

Процеси виникнення і розвитку горіння ТГМ мають багато спільного із процесами горіння газів і рідин, однак існує і ряд особливостей, зумовлених агрегатним станом. При контакті ТГМ з потужним джерелом запалювання відбуваються наступні процеси:

1. Попередній нагрів поверхні до температури початку фізико-хімічних перетворень (плавлення, випаровування або термічного розкладання). Якщо це матеріал рослинного походження, то з нього спочатку починає випаровуватися волога.

2. Подальший нагрів обумовлює протікання фізико-хімічних перетворень.

3. Утворення горючої пароповітряної суміші з концентрацією горючої речовини більше, ніж  $\varphi_n$ .

4. Нагрів газової суміші до температури запалювання.

5. Займання газоповітряної суміші із подальшим горінням.

Таким чином, процес горіння більшості ТГМ (ті, що газифікуються) починається із гомогенного режиму. Горіння характеризується високою

швидкістю поширення, потужними конвекційними і променистими потоками.

Після запалювання ТГМ в місці впливу ДЗ відбувається пересування фронту полум'я по поверхні матеріалу з певною лінійною швидкістю  $V_l$ . Поширення горіння протікає за рахунок передачі тепла від полум'я до сусідніх ділянок матеріалу переважно випромінюванням і конвекцією.

На швидкість поширення полум'я по поверхні ТГМ впливають такі фактори: природа матеріалу (швидкість утворення летючих продуктів розкладання); вологість матеріалу; орієнтація зразка в просторі; швидкість і напрям повітряних потоків; початкова температура матеріалу; геометричні розміри зразка (форма, подрібнення).  $V_l$  залежить від виду ТГМ і умов горіння:

- вид ТГМ (швидкість утворення ЛПР)  $\mu \uparrow V_l \downarrow$ ;
- вологість ТГМ  $W \uparrow$   $N_{\text{прогр}} \uparrow V_l \downarrow$ ;
- орієнтація зразка у просторі: за  $\alpha \rightarrow 90^\circ$  (вертикально)  $V_l \uparrow$ ; (збільшується частка випромінювання і конвективний прогрів ТГМ гарячими продуктами горіння).
- вітер: а) в напрямку руху полум'я  $V_l \uparrow$ . б) проти руху полум'я – слабкий вітер додає повітря,  $V_l \uparrow$ , сильний вітер  $> 4$  м/с охолоджує ТГМ,  $V_l \downarrow$ .
- $T_0$  ТГМ;
- розміри, форма, ступінь подрібнення зразка: існує термічна товщина зразка  $h_{\text{терм}}$  – прогрітий шар ТГМ на момент поширення горіння на цю ділянку; якщо фізична товщина  $h_{\text{фіз.}} > h_{\text{терм.}}$ , то зразок називають термічно товстим (не встигає прогріватись), за  $h_{\text{фіз.}} \uparrow V_l = \text{const}$ ; якщо  $h_{\text{фіз.}} < h_{\text{терм.}}$  – термічно тонким (встигає прогріватись), за  $h_{\text{фіз.}} \uparrow V_l \downarrow$ .

**РОБОТА № 7**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я**  
**ПО ПОВЕРХНІ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

.....

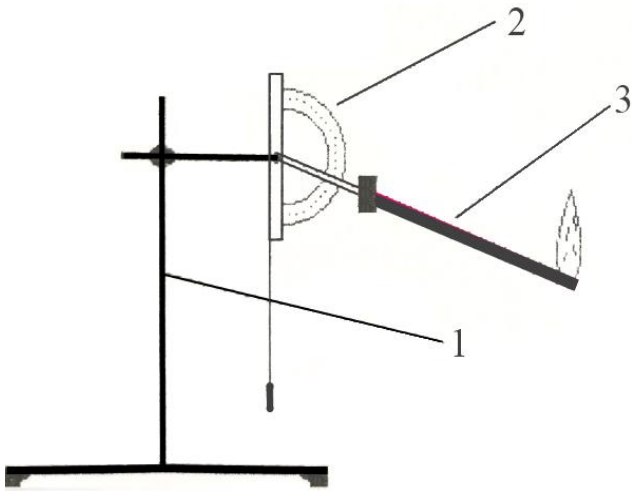
**Речовина, що досліджується :** .....

**Умови проведення досліду:**

- Температура: .....°С;
- Атмосферний тиск: .....кПа;

**ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ**

**Устрій приладу**



- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_

**Порядок проведення дослідження:**

1. ....
- .....
2. ....
- .....
3. ....
- .....
4. ....
- .....
5. ....
- .....

6. ....

7. ....

8. ....

### ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДІВ

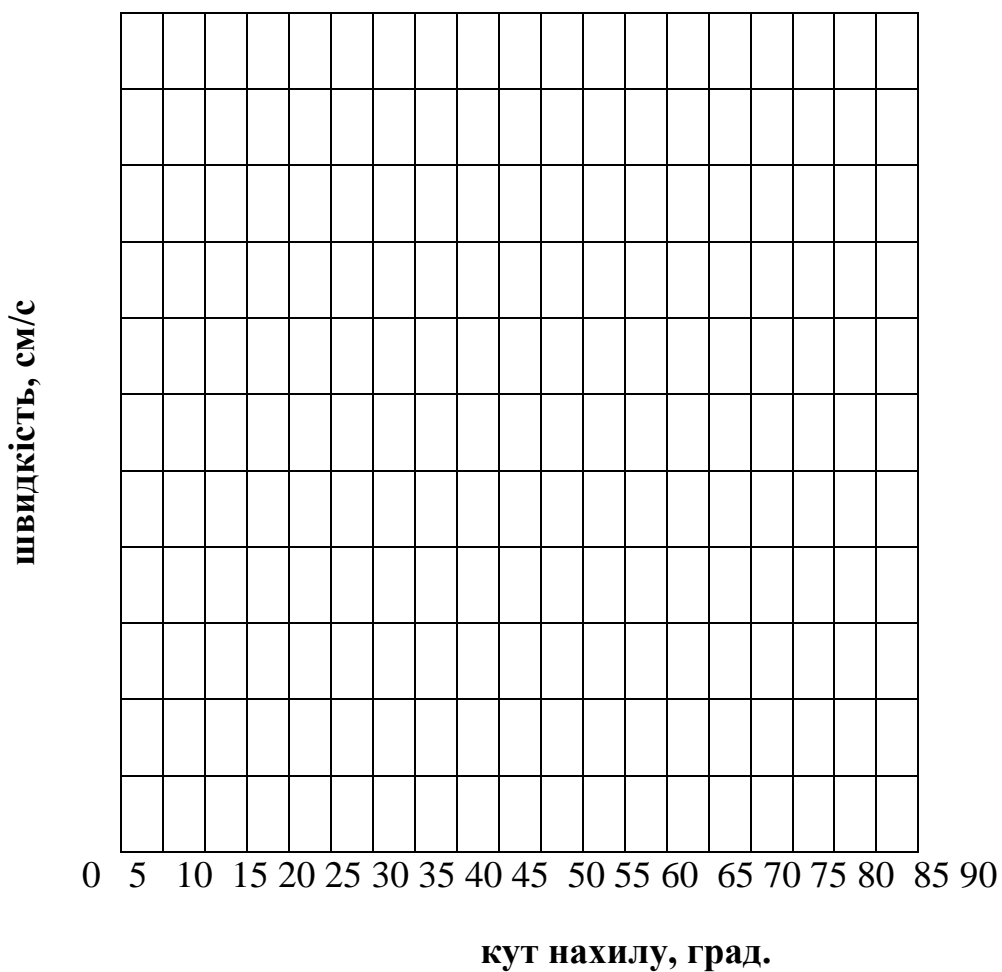
Таблиця результатів досліду

№	Кут нахилу, град	довжина ділянки, см	час поширення полум'я по ділянці, с			швидкість полум'я на ділянці, см/с			середня швидкість, см/с

Зведена таблиця результатів досліду

кут нахилу, град	швидкість полум'я, см/с	кут нахилу, град	швидкість полум'я, см/с
<b>0</b>		<b>50</b>	
<b>5</b>		<b>55</b>	
<b>10</b>		<b>60</b>	
<b>15</b>		<b>65</b>	
<b>20</b>		<b>70</b>	
<b>25</b>		<b>75</b>	
<b>30</b>		<b>80</b>	
<b>35</b>		<b>85</b>	
<b>40</b>		<b>90</b>	
<b>45</b>			

# Графік залежності швидкості поширення фронту полум'я від кута нахилу зразка



**Висновок:**.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ**  
**картка №.....**

Задача № 1: .....

.....

Рішення: .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Задача № 2: .....

.....

Рішення: .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## ГОРІННЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

### Теоретичне обґрунтування роботи

**Пил** – колоїдна система з твердої дисперсної фази і газоподібного дисперсійного середовища, тобто являє собою тверду речовину подрібнену в газоподібному середовищі. Дисперсна система, що являє собою пил, завислий в повітрі, називається *аерозолем*. Осілий з повітря пил називається *аерогелем*.

Пожежну небезпеку пилу обумовлюють властивості речовини, з якої вона отримана, але визначальним додатковим параметром є ступінь подрібнення (дисперсність) часток пилу, так як із збільшенням ступеня дисперсності підвищуються питома поверхня часток, хімічна активність, схильність до електризації, адсорбційна здатність. Залежно від середнього розміру часток пил може тривало знаходитися у завислому стані або відразу ж осідати після короткочасного переходу у завислий стан. Чим більша дисперсність часток, тим менша швидкість їх осадження, оскільки процес осадження під дією сили тяжіння урівноважується опором газового середовища.

Виникнення горіння пилу можливе по трьох механізмах: вимушене запалювання, самоспалахування і самозаймання.

Пил різних полімерів схильний до теплового самозаймання. У процесі розкладання початкового матеріалу і окислення газоподібних продуктів виникає самонагрівання і відбувається обвуглювання матеріалу. Вуглецевий залишок, що утворюється, адсорбує пари і гази і нагрівається, швидкість реакції окиснення збільшується, через деякий час може виникнути тління. Здатність аерогелю розповсюджувати тління всередині шару створює велику небезпеку, оскільки за певних умов велика маса пилу може переходити зі стану тління у полум'яне горіння.

Вугільний пил схильний до фізичного самозаймання, первинним імпульсом якого є тепло, що виділяється під час адсорбції на пористій поверхні пилинок парів і газів.

Пил целюлозовмісних матеріалів за певних умов схильний до мікробіологічного самозаймання.

Металеві пудри і порошки мають схильність до хімічного самозаймання при взаємодії їх з киснем повітря, яка зростає за збільшення дисперсності (за більш дрібних часток).

У ході запалювання пилу відбуваються ті ж процеси, що й для твердих і газоподібних горючих речовин. Летучі компоненти пилу – це частина ТГМ, яка під час нагріву переходить в газоподібний стан під час розкладання. Саме ця частина пилу створює можливість виникнення вибуху пилоповітряних сумішей.



Відмінною рисою горіння пилу є те, що пил має велику питому поверхню, на якій активно адсорбується кисень повітря, що обумовлює більшу швидкість протікання реакцій окислення.

Режим горіння часток пилу залежить від особливостей горіння початкового матеріалу і дисперсності часток. Якщо високодисперсний пил при нагріванні весь встигає перейти в газоподібний стан – горіння протікає в гомогенному режимі. Пил, що отримано з ТГМ 2-го роду, при нагріванні утворює крім газоподібних продуктів твердий вуглецевий залишок - горіння може проходити в змішаному режимі. Частки пилу, що утворені вуглецем або нелетучими металами, при горінні окислюються безпосередньо на поверхні - горіння є гетерогенним.

Відмінна риса горіння пилоповітряних сумішей у порівнянні із газовими полягає в тому, що взаємодія між горючою речовиною і окислювачем може здійснюватися тільки на поверхні розділу хімічно-активних фаз системи. При цьому швидкість перетворення вихідної речовини в кінцеві продукти обумовлюється не тільки хімічними процесами, але і процесами масообміну, що відбуваються в результаті дифузії, конвекції теплопровідності і випромінювання. Якщо поширення полум'я в газових сумішах зумовлено прогріванням холодної суміші за рахунок теплопровідності, то поширення полум'я в пилоповітряних сумішах забезпечується за рахунок запалювання часток свіжої суміші випромінюванням від зони реакції і продуктів горіння.

Запалювання і горіння пилоповітряної суміші можливе тільки у відповідному діапазоні концентрацій, за певної дисперсності твердої горючої фази і достатній потужності джерела запалювання. Пожежна небезпека пилу визначається наступними параметрами: температурою самоспалахування, мінімальною енергією запалювання аерозолі, це найменша енергія іскри електричного розряду, за якої виникає запалювання аерозолі оптимальної концентрації, нижньою концентраційною межею поширення полум'я аерозолі, надлишковим тиском вибуху.

Згідно із ДНАОП 0.00-1.32-01 "Правила побудови електроустановок" вибухонебезпечним є пил, надлишковий тиск вибуху якого більше або дорівнює 5 кПа. За величиною НКМПП горючий пил можна поділити на дві групи і чотири класи:

Перша група – вибухонебезпечний пил. Пил, що здатний до кінетичного горіння і має нижню концентраційну межу поширення полум'я менше 65 г/м<sup>3</sup> включно.

1 клас – найбільш вибухонебезпечний пил з НКМПП до 15 г/м<sup>3</sup>;

2 клас – вибухонебезпечний пил з НКМПП від 16 і до 65 г/м<sup>3</sup>;

Друга група – пожежонебезпечний пил

3 клас – найбільш пожежонебезпечний пил із  $T_{cc}$  аерогелю не вище за 250°C;

4 клас – пожежонебезпечний пил із  $T_{cc}$  аерогелю вище за 250°C.

Розрахунок нижньої масової КМПП пилу:

- для пилу індивідуального складу залежно від його дисперсності (формула Монахова):

$$\text{крупнодисперсний пил } \varphi'_n = 0,164 \cdot \mu \cdot \varphi_n, \text{ Г/М}^3;$$

$$\text{дрібнодисперсний пил } \varphi'_n = 0,41 \cdot \mu \cdot \varphi_n, \text{ Г/М}^3;$$

де  $\varphi_n = \frac{100}{1 + h_f \Delta H_f^0 + \sum_j h_j m_j}$ , % - нижня КМПП для газоподібного стану речовини;

вини;

- для пилу складного складу за значенням масової теплоти згоряння (формула Шоневальда):

$$\varphi'_n = a + \frac{b \cdot 10^6}{Q'_n}, \text{ Г/М}^3,$$

де  $Q'_n$  – нижча масова теплота згоряння речовини (для складних речовин розраховується за формулою Менделєєва

$$Q'_n = 339,4C + 1257H - 108,9(O+N - S) - 25,1(9H + W) \text{ кДж/кг},$$

де  $C, H, O, N, S, W$  – процентний вміст карбону, гідрогену, кисню, нітрогену, сульфору і вологи у речовині.

**РОБОТА № 8**  
**ВИЗНАЧЕННЯ НИЖНЬОЇ КОНЦЕНТРАЦІЙНОЇ**  
**МЕЖІ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я АЕРОЗОЛЮ**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

.....

**Речовина, що досліджується :**.....

**Умови проведення досліду:**

- Температура: .....°С;

- Атмосферний тиск: .....кПа;

**РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

1. Розрахувати масову нижню КМПП пилу.
- 1.1. З урахуванням хімічного складу речовини

$\Delta H_f^0 = \dots\dots\dots$  кДж/моль.

**Число атомів та їх внесок  $h_j$  (табл.14 додатків):**

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

Об'ємна нижня КМПП:

$\Phi_n = \dots\dots\dots$

Молярна маса горючої речовини

$\mu = \dots\dots\dots$  г/моль.

Масова нижня КМПП:

Крупнодисперсний пил  $\Phi_n' = \dots\dots\dots$  г/м<sup>3</sup>.

Дрінодисперсний пил  $\Phi_n'' = \dots\dots\dots$  г/м<sup>3</sup>.

1.2. За формулою Шоневальда:  
Масова теплота згоряння

$$Q'_H = 339,4C + 1257H - 108,9(O+N - S) - 25,1(9H + W) =$$

.....  
..... кДж/кг;

Масова нижня КМПП (табл. 15 додатків):

константи  $a =$  .....,  $b =$  .....

$\varphi'_H =$  .....  $\text{г/м}^3$ .

2. Визначити ступінь пожежної небезпеки пилу

.....  
.....

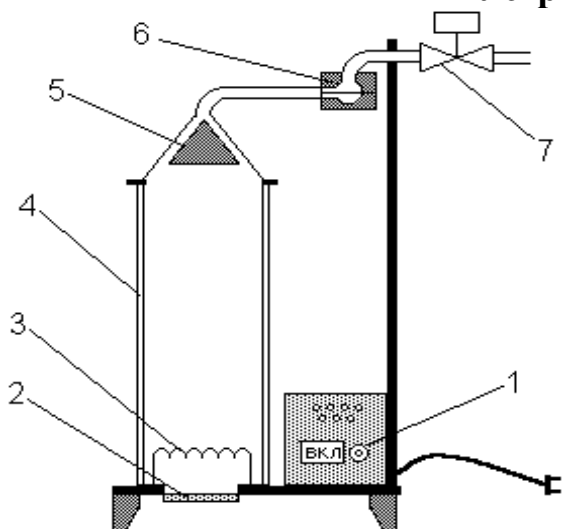
3. Розрахувати потрібну масу наважки пилу:

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

наважка пилу:  $m = \varphi'_H V_{\text{рп}} =$  .....,  $\text{г}$ .

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### Устрій приладу



- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_
- 6 \_\_\_\_\_
- 7 \_\_\_\_\_

### Порядок проведення дослідження:

1. ....  
.....
2. ....  
.....
3. ....  
.....
4. ....  
.....
5. ....  
.....
6. ....  
.....

Таблиця результатів досліду

маса наважки, г	концентрація пилу, г/м <sup>3</sup>	результат досліду

**Висновок:**.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

### РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ картка №.....

Задача № 1: .....

.....  
.....  
.....

Рішення: .....

.....  
.....  
.....



## ПОЖЕЖА ТА ЇЇ РОЗВИТОК

### Теоретичне обґрунтування роботи

Під розвитком пожежі розуміють зміну основних параметрів пожежі в часі та просторі. Найголовнішими з них є площа пожежі, температура, інтенсивність задимлення.

Початком більшості пожеж з горінням ТГМ (пожежі класу А) є дія джерела запалювання на невеликій ділянці. *Першою фазою першої стадії* пожежі є перехід загоряння в пожежу з повільною зміною середньооб'ємної температури. *Друга фаза* – об'ємний розвиток пожежі. Поступово зростає температура газового середовища в приміщенні, що інтенсифікує розкладання ТГМ з виділенням горючих летючих продуктів. Зростає лінійна швидкість поширення полум'я і площа пожежі, полум'я заповнює майже весь об'єм приміщення, під дією конвекційних та променистих потоків тепла займаються матеріали, які віддалені від зони горіння. За зростання середньооб'ємної температури у приміщенні до 300 °С руйнується скління, з чим починається *третьою фазою* пожежі. Спочатку температура трохи знижується за рахунок великої маси холодного повітря, але надалі зростає ще швидше.

*Друга стадія*, розвинена пожежа, починається через 20–30 хв. залежно від розмірів приміщення, коли всі параметри пожежі стабілізуються; триває ще 20–30 хв. залежно від пожежної навантаги. *Третій стадії* пожежі (догоряння) властиві поступове зниження температури та задимлення, так як основна частина горючих матеріалів вже вигоріла. Гомогенне горіння переходить в тління, площа пожежі не змінюється, але площа горіння зменшується.

Явища пожежі, що призводять до травмування, отруєння або загибелі людей, а також до знищення або пошкодження матеріальних цінностей, називають **небезпечними факторами пожежі**. До них відносять наступні *первинні та вторинні явища*: відкритий вогонь, підвищену температуру середовища і предметів, токсичні продукти горіння, дим, знижену концентрацію кисню у повітрі. Працездатність особового складу на пожежі різко знижується вже за температури близько 35–40 °С, що зменшує гранично допустимий час перебування людей на пожежі. Критичною для людини вважають температуру середовища 70°С.

Крім температури, на можливість знаходження людини на пожежі впливає *зона задимлення*. Її зовнішня межа є там, де видимість знижена до 6–12 метрів, вміст кисню в повітрі менший 16%, а концентрація токсичних газів викликає отруєння людей.

Під час пожежі в огороженні тепло- і масообмін обмежені огорожуючими конструкціями, тепло і дим накопичуються. *Зона задимлення* має знижений вміст кисню та підвищений вміст токсичних речовин, а

зона *теплого впливу* – температуру або густину теплового потоку більші за критичний рівень. Отже з розвитком пожежі настає момент, коли перебування людей в приміщенні буде неможливим. Такий час називають **критичним часом** розвитку пожежі.

Якщо площа пожежі не змінна (як при горінні рідин), критичного часу досягнення критичної температури або вмісту кисню в приміщенні розраховують за формулами:

$$\tau_{кр}^t = 71 \frac{V_{прим}}{\eta Q'_н S_{пож} v_m}; \quad \tau_{кр}^{O_2} = \frac{0,33 V_{прим}}{\eta S_{пож} v_m v_{пов}^0}.$$

Для приміщень, у яких горять ТГМ, з урахуванням закону збільшення площі пожежі за геометричною формою її розвитку – критичний час перебування людей визначають за формулами:

$$\text{КОЛО: } \tau_{кр}^t = 2,97 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta Q'_н v_l^2 v_m}}; \quad \tau_{кр}^{O_2} = 0,472 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta v_l^2 v_m v_{пов}^0}},$$

$$\text{ПІВКОЛО: } \tau_{кр}^t = 3,73 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta Q'_н v_l^2 v_m}}; \quad \tau_{кр}^{O_2} = 0,595 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta v_l^2 v_m v_{пов}^0}},$$

$$\text{ЧВЕРТЬ КОЛА: } \tau_{кр}^t = 4,7 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta Q'_н v_l^2 v_m}}; \quad \tau_{кр}^{O_2} = 0,749 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta v_l^2 v_m v_{пов}^0}},$$

де  $v_l$  – лінійна швидкість поширення горіння, м/хв.;  $v_m$  – масова швидкість вигорання, кг/(м<sup>2</sup>с);  $v_{пов}^0$  – питомий об'єм повітря для горіння ГР, м<sup>3</sup>/кг;  $Q'_н$  – масова теплота згорання ГР, кДж/кг;  $S_{пож}$  – площа пожежі, м<sup>2</sup>;  $\eta$  – коефіцієнт повноти згорання.

Кількісною характеристикою зміни тепловиділення на пожежі є температурний режим. **Температурний режим пожежі** це зміна температури пожежі в часі. Існує три основні моделі розрахунку температурного режиму при пожежі в огорожі: диференційна, зонна та інтегральна модель. **Інтегральна модель** є найбільш простою. Вона припускає, що все тепло пожежі рівномірно розподілено по об'єму приміщення і витрачається на нагрів продуктів горіння, за температуру пожежі приймають середньооб'ємну температуру у приміщенні.

Температура пожежі в огороженні залежить від множини факторів: розподіл і кількість пожежної навантаги, площа горіння, розміри приміщення, інтенсивність газообміну тощо. Для визначення температури пожежі на заданий час розвитку можна скористатись номограмою (див. додаток 18). Для цього спочатку визначають коефіцієнт надлишку



повітря теж за номограмою (додаток 17) та густину теплового потоку за формулою:

$$q = \frac{\eta S_{\text{пож}} Q_{\text{н}}' v_{\text{м}}^0}{S_{\text{огор}}}, \text{ кВт/м}^2,$$

де  $S_{\text{огор}}$  – площа поверхонь, які сприймають тепловий потік пожежі (стеля, стіни, підлога.),  $\text{м}^2$ .

Процес горіння формує конвекційні газові потоки. Густина продуктів горіння у нижній і верхній частині приміщення відрізняється від густини навколишнього повітря. Але на деякій висоті від рівня підлоги приміщення фізичні параметри газового середовища і тиск співпадають з фізичними параметрами та тиском повітря поза приміщенням. Цю площину називають **нейтральною зоною** або площиною рівних тисків.

Газообмін на пожежі суттєво впливає на розвиток пожежі, її тепловий режим, швидкість і напрямок поширення горіння. Тому газообмін має значення для організації і проведення бойових дій по гасінню пожеж та рятуванню людей, які знаходяться всередині будинку. Характер газообміну у приміщенні залежить від наявності та параметрів отворів крізь які рухаються газові потоки. Виділяють два основні варіанти газообміну: газообмін крізь один отвір і газообмін крізь два отвори.

Якщо газообмін здійснюється через отвори, розташовані на одному рівні, нейтральна зона опиняється у площині цих отворів. Вище нейтральної зони продукти горіння видавлюються назовні, а у нижній частині отвору відбувається підсос повітря у приміщення. Тоді висоту нейтральної зони в площині відкритого отвору розраховують за формулою:

$$h_{\text{нз}} = \frac{h}{1 + 3 \sqrt{\frac{T_{\text{пг}}}{T_{\text{п}}}}}$$

де  $h$  – висота отвору, через який здійснюється газообмін, м.

Коли отвори через які здійснюється газообмін розташовані на різних рівнях так, що через один отвір надходить повітря, а через інший виходять продукти згорання, нейтральна зона розташовується у площині між центрами отворів. Висоту нейтральної зони в цьому випадку розраховують за формулою:

$$h_{\text{нз}} = \frac{H}{\left(\frac{S_{\text{прип}}}{S_{\text{вит}}}\right)^2 \frac{T_{\text{пг}}}{T_{\text{п}}} + 1} + 0,5 \cdot h_{\text{прип}}$$

де  $S_{\text{прип}}$  - площа припливного отвору,  $\text{м}^2$ ;

**S<sub>вих</sub>** - площа витяжного отвору, м<sup>2</sup>;

**h<sub>прип</sub>** – висота припливного отвору, м;

**H** - висота між центрами припливного і витяжного отворів, м.

Для регулювання висоти нейтральної зони знижують температуру й осаджують продукти горіння розпиленими струменями води, зменшують площу припливних і збільшують площу витяжних отворів, встановлюють димовсмоктувачі. Нейтральна зона розташовується ближче до отворів, площа яких більше.

**РОБОТА № 9**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛО- ТА МАСООБМІНУ ПОЖЕЖІ**  
**В ОГОРОДЖЕННІ**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

.....

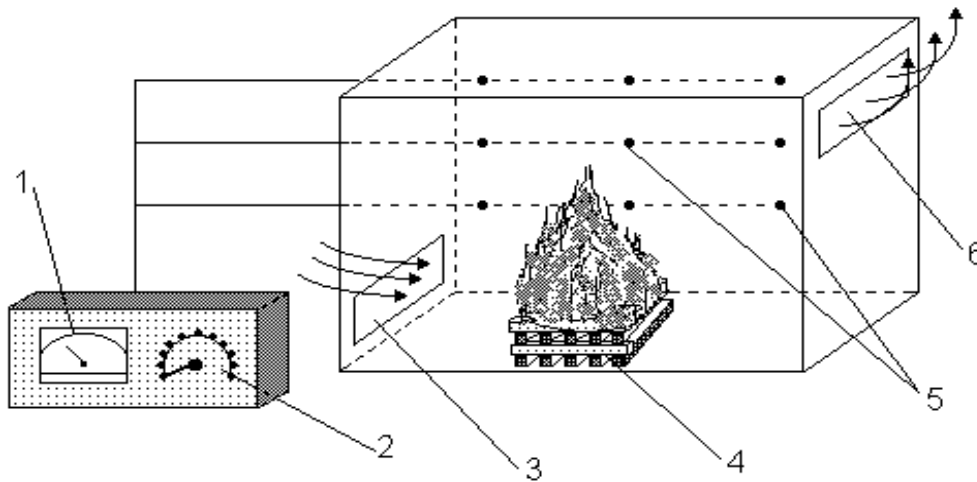
**Речовина, що досліджується :** .....

**Умови проведення досліду:**

- Температура: .....°С;
- Атмосферний тиск: .....кПа;

**РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

**Схема лабораторної установки**



- 1. ....;
- 2. ....;
- 3. ....;
- 4. ....;
- 5. ....;
- 6. ....

1. Розрахунок часу досягнення критичних параметрів пожежі в приміщенні

Параметри горючої речовини

$$\eta = \dots\dots\dots; Q_n' = \dots\dots\dots \text{кДж/кг}; S_{\text{пож}} = \dots\dots\dots \text{м}^2;$$

$$v_m^0 = \dots\dots\dots \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв}); v_n^0 = \dots\dots\dots \text{м}^3/\text{кг}; ; v_{\text{пг}}^0 = \dots\dots\dots \text{м}^3/\text{кг}.$$

### 1.1 Параметри приміщення

$$a = \dots\dots\dots \text{м}; b = \dots\dots\dots \text{м}; h = \dots\dots\dots \text{м}; h_{\text{отв}} = \dots\dots\dots \text{м};$$

$$V_{\text{прим}} = \dots\dots\dots \text{м}^3; S_{\text{підл}} = \dots\dots\dots \text{м}^2; S_{\text{огор}} = \dots\dots\dots \text{м}^2$$

### 1.2 Критичний час за температурою:

$$\tau_{\text{кр}}^t = \dots\dots\dots$$

за вмістом кисню:

$$\tau_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \dots\dots\dots$$

2. Розрахунок температури пожежі та висоти нейтральної зони з урахуванням часу розвитку та умов газообміну.

Час пож, хв.	Ширина отвору, м		Площа отвору, м <sup>2</sup>		α	Темп. пож., °С		Висота нейтр. зони, м	
	ниж	вер	ниж	вер		рознр.	факт	рознр	факт

### 2.1. Визначити коефіцієнт надлишку повітря α:

$$S_{\text{прип}}/S_{\text{пож}} = \dots\dots\dots \rightarrow \text{крива №} \dots\dots\dots$$

$$S_{\text{пож}}/S_{\text{підл}} = \dots\dots\dots \rightarrow \text{вид кривої} \dots\dots\dots$$

$$\alpha = \dots\dots\dots (\text{за номограмою}).$$

2.2. Визначити температуру пожежі в приміщенні (за номограмою):  
Розрахувати густину теплового потоку

$q = \dots\dots\dots$ , кВт/м<sup>2</sup>

$t_{\text{пож}} = \dots\dots\dots$ , °С.

**2.3. Розрахувати висоту нейтральної зони:**

$h_{\text{нз}} = \dots\dots\dots$   
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### Порядок проведення дослідження:

1. ....  
.....
2. ....  
.....
3. ....  
.....
4. ....  
.....

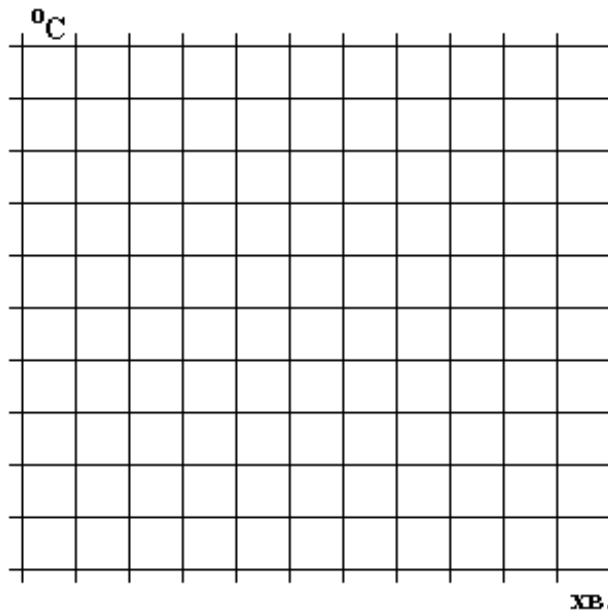
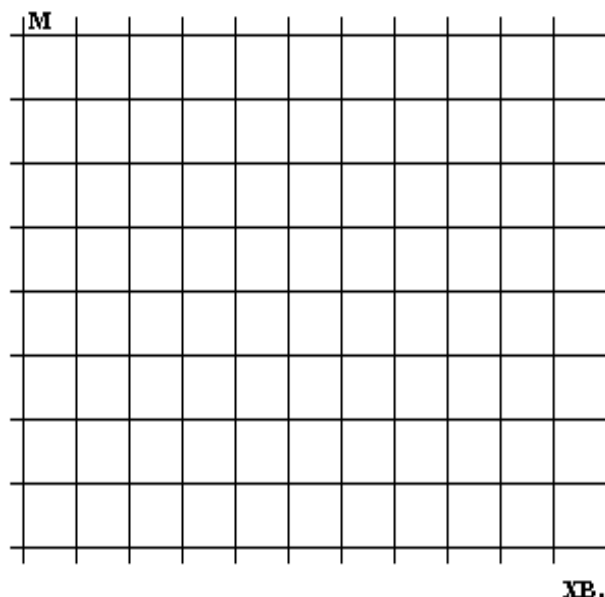
Таблиця результатів дослідів

час, хв.	Показання термопар, °С									середня t, °С.	h нейтр. зони, м
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

**Обробка результатів дослідів**

*Графік зміни висоти нейтральної зони*

**Графік зміни температури пожежі**



**Висновок:**.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

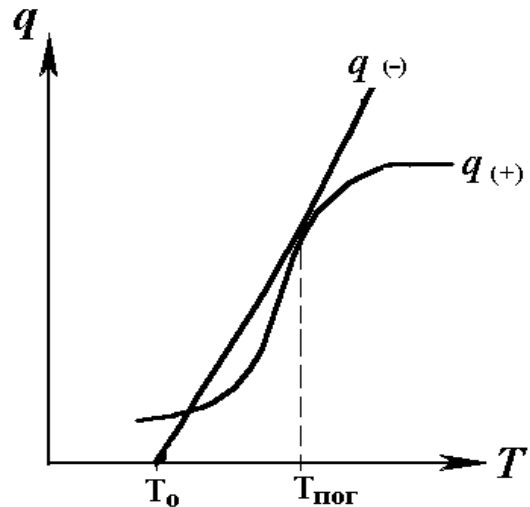


## ЗАПОБІГАННЯ ТА ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ

### Теоретичне обґрунтування роботи

Горіння відбувається на балансі тепловиділення  $q(+)$  хімічної реакції в горючій системі і тепловіддачі  $q(-)$  в навколишнє середовище  $q(+)=q(-)$ . Графічно критична умова теплового балансу процесу горіння, за якої відбувається погасання, має вигляд:

Аналітично інтенсивність процесу тепловиділення  $q(+)$  у фронті полум'я у залежності від виду горючої речовини, її концентрації та температури виражається рівнянням:



$$q(+)=Q_H V_{гс} \varphi_{гp}^n \varphi_{ок}^m k \exp\left(\frac{-E_{акт}}{RT}\right),$$

де  $E_{акт}$  – енергія активації системи, кДж/моль;  $R$  – універсальна газова стала, кДж/(моль К);  $T$  – температура суміші, що реагує, К;  $Q_H$  – теплота згоряння речовини, кДж/моль;  $V_{гс}$  – об'єм горючої суміші (реакційної посудини);  $k$  – константа реакції.

Інтенсивність процесу тепловіддачі від поверхні фронту полум'я  $S_{тв}$  визначається передачею тепла випромінюванням і конвекцією:

$$q(-)=\alpha_K S_{тв} (T_{гор} - T_0) + \sigma \varepsilon S_{тв} (T_{гор}^4 - T_0^4),$$

де  $T_{гор}$ ,  $T_0$  – температури горіння та навколишнього середовища;  $S_{тв}$  – площа тепловіддачі;  $\alpha_K$  – коефіцієнт конвекційної тепловіддачі;  $\sigma$  – стала Больцмана;  $\varepsilon$  – ступінь чорноти полум'я.

Критичне порушення термодинамічної рівноваги системи відбувається за зниження температури у зоні реакції  $T_{пл}$  на деяку величину  $\Delta T$ . За аналізом попередніх рівнянь ця величина для погасання дифузійного

полум'я становить:  $\Delta T = \frac{3RT_{ад}^2}{E_{акт}}$ ,

де  $T_{ад}$  – адиабатична температура полум'я.

З аналізу рівнянь тепловиділення і тепловіддачі випливають основні напрямки досягнення припинення процесу горіння. Відповідно до теплової теорії погасання основою припинення горіння є зниження температури в зоні хімічної реакції до температури погасання, нижче за яку



горіння стає неможливим навіть за наявності горючої речовини й окисника.

На практиці для припинення та запобігання горіння використовують різні методи, способи і прийоми пожежогасіння.

Порушення теплової рівноваги в зоні горіння можна здійснити *методами* або зниження інтенсивності тепловиділення в зоні реакції нижче граничного значення, або підвищення інтенсивності тепловіддачі від системи у навколишнє середовище, або за рахунок одночасного дії таких ефектів. Для реалізації цих методів припинення горіння використовують певні *способи*:

- зменшення концентрацій компонентів, що реагують, припиненням доступу окисника чи горючої речовини в зону горіння або додавання в неї негорючих компонентів;
- збільшення енергії активації горючої системи внаслідок введення в систему інгібіторів;
- зниження температури середовища в зоні горіння речовинами, які мають низьку початкову температуру, високу теплоємність, теплоту фазового переходу;
- збільшення коефіцієнтів тепловіддачі шляхом різкого збільшення швидкості натікання холодного компонента горючої суміші в зону горіння (зрив полум'я) або підвищення ступеню чорноти полум'я (введення в зону горіння домішок з великою випромінювальною здатністю);
- збільшення площі тепловіддачі шляхом застосування спеціальних пристроїв, вогнеперешкоджувачів, або внесення в зону горіння вогнегасних речовини з великою теплоємністю і розвинутою поверхнею теплосприйняття.

Ці способи реалізують з використанням певних *тактичних прийомів* припинення горіння:

1. Охолодження:

- зони горіння до температури меншої за температуру погасання;
- поверхні конденсованої горючої речовини до температури меншої за критичну (для рідин – температура спалаху, для ТГМ – температура піролізу).

2. Розбавлювання:

- зони горіння негорючими розріджувачами;
- розбавлення горючих рідин негорючими.

3. Ізолювання:

- горючої речовини від зони горіння;
- окисника від зони горіння;
- зони горіння як джерела запалювання від горючої суміші.

4. Хімічне гальмування реакції горіння (інгібування).

Розрізняють об'ємний і поверхневий способи подачі вогнегасного засобу. За обмеженого повітрообміну можна використовувати спосіб об'ємного гасіння, коли вогнегасні засоби подають всередину об'єму, що

захищається; вони розбавляють горюче середовище, витісняють повітря з приміщення чи апарату. В об'єм подають і засоби інгібування горіння

При розбавленні зони горіння негорючими розріджувачами досягається точка флегматизації за якої суміш стає негорючою. **Флегматизація** це запобігання утворення горючого середовища в газовому просторі апаратів або приміщень шляхом введення в горючу суміш негорючих газів-флегматизаторів, при цьому область запалювання зменшується -  $\varphi_n \uparrow$ ,  $\varphi_v \downarrow$ . Точка у якій  $\varphi_n$  та  $\varphi_v$  сходяться, є точкою флегматизації,  $\varphi_{\text{фл min}}$ .

**Мінімальна флегматизуюча концентрація**  $\varphi_{\text{фл}}$  це найменша концентрація негорючого газу в стехіометричній суміші горючої речовини та окисника, за якої суміш нездатна до поширення полум'я.

Флегматизуючій концентрації відповідає мінімальна вибухонебезпечна концентрація кисню:

$$\varphi_{\text{мвкк}} = \frac{100 - \varphi_{\text{фл}}}{4,84}, \% \quad .$$

Пожежовибухобезпека гарантована за безпечної концентрації кисню:  $\varphi_{\text{без}} = 1,2\varphi_{\text{мвкк}} - 4,2 \text{ ,\%}$ .

**РОБОТА № 10**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ**  
**РОЗВЕДЕННЯМ**

**Мета роботи:** .....

.....

.....

.....

.....

**Речовина, що досліджується :**.....

**Вогнегасна речовина:** .....

**Умови проведення досліду:**

- Температура: .....°C;

- Атмосферний тиск: .....кПа;

**РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА**

1. Розрахувати флегматизуючу концентрацію негорючого газу за властивостями речовини, що горить:

$$\Delta H_f^0 = \dots\dots\dots ;$$

за табл. 16 додатків:  $h'_f = \dots\dots\dots$   $h'_\phi = \dots\dots\dots$   $h''_\phi = \dots\dots\dots$

j	m <sub>j</sub>	h' <sub>j</sub>	h'' <sub>j</sub>

$$\varphi_{\phi_{л}} = 100 \frac{h'_f \Delta H_f^0 + h'_\phi + \sum h'_j m_j}{h''_\phi - 1 + \sum h''_j m_j} = \dots\dots\dots, \%$$

2. Розрахувати мінімальну вибухобезпечну концентрацію кисню:

$$\varphi_{\text{мвбк}} = (100 - \varphi_{\phi_{л}}) / 4,844 = \dots\dots\dots, \%$$

3. Розрахувати безпечну концентрацію кисню

$$\varphi_{\text{без}} = 1,2 \varphi_{\text{мвбк}} - 4,2 = \dots\dots\dots, \%$$

4. Розрахувати об'єм негорючого газу, що необхідний для гасіння пожежі в заданому приміщенні:

$$V_{\text{нг}} = V_{\text{прим}} \cdot \ln \frac{100}{100 - \varphi_{\text{фл}}} = \dots \text{м}^3$$

5. Розрахувати масову витрату витікання негорючого газу за діаметром трубопроводу та тиску в балоні:

$$P_{\text{сис}} = \quad \text{Па}; \quad d_{\text{отв}} = \quad \text{м},$$

$$\text{для } \frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} < 2: \quad g_{\Gamma} = 0,64 S_{\text{отв}} P_{\text{сис}} \sqrt{\frac{1}{R_{\text{пит}} T} \cdot \frac{2k}{k-1} \left[ \left( \frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{сис}}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{сис}}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]},$$

кг/с;

$$\text{для } \frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} > 2: \quad g_{\Gamma} = 0,64 S_{\text{отв}} P_{\text{сис}} \sqrt{\frac{1}{R_{\text{пит}} T} \cdot \frac{2k}{k+1} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}, \text{ кг/с},$$

де  $k$  – коефіцієнт адиабати горючого газу (для одноатомних газів 1,67, двоатомних 1,4, триатомних та більше  $k = 1,3$ );

$R_{\text{пит}}$  – питома газова стала, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>:

$$R_{\text{пит}} = \frac{R}{\mu_{\Gamma} \cdot 10^{-3}} = \dots, \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1},$$

$$g_{\text{нг}} = \dots$$

....., кг/с.

6. Розрахувати густину негорючого газу за даних умов:

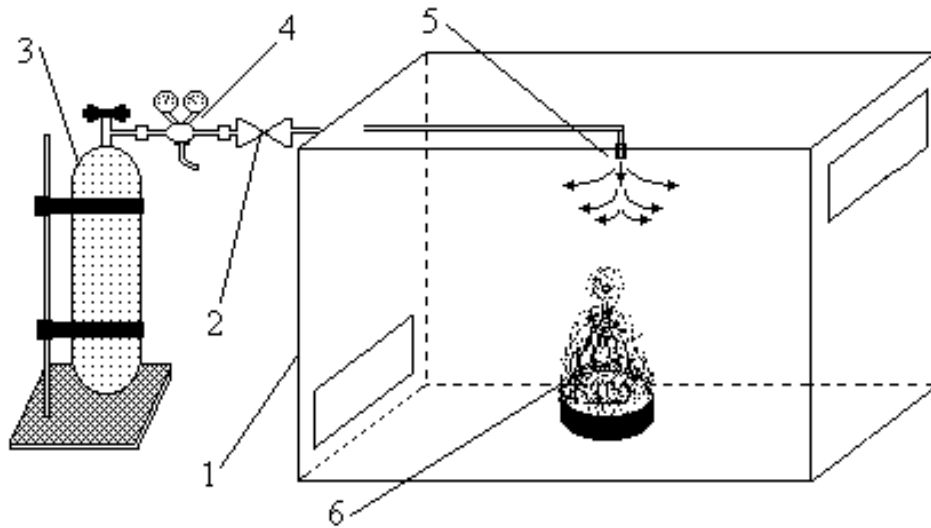
$$V_{\mu} = 22,4 \cdot \frac{101,3\text{T}}{273\text{P}} = \dots, \text{ м}^3/\text{кмоль}.$$

$$\rho = \frac{\mu}{V_{\mu}} = \dots, \text{ кг/м}^3$$

7. Розрахувати теоретичний час гасіння:

$$\tau_{\text{гас}} = \frac{V_{\text{нг}} \cdot \rho}{g_{\text{нг}}} = \dots, \text{ с}$$

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА**  
**Схема лабораторної установки**



1. ....;
2. ....;
3. ....;
4. ....;
5. ....;
6. ....;

**Порядок проведення дослідження:**

1. ....  
 ....
2. ....  
 ....
3. ....  
 ....
4. ....  
 ....

**Обробка результатів дослідів**

Фактичний час гасіння  $\tau_{\text{гас факт}} = \dots \text{с.}$

Фактична маса негорючого газу  $m_{\text{нг факт}} = \dots \text{г.}$

Масова концентрація негорючого газу в приміщенні (фактична)

$$\varphi'_{\text{нг факт}} = \frac{m_{\text{нг факт}}}{V_{\text{прим}}} = \dots\dots\dots \text{г/м}^3$$

Об'ємна концентрація негорючого газу в приміщенні (фактична)

$$\varphi_{\text{нг факт}} = \varphi'_{\text{нг факт}} \frac{V_{\mu}}{10 \cdot \mu} \dots\dots\dots \%$$

**Висновок:** .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ**  
**картка №.....**

Задача .....

.....

.....

.....

Рішення: .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

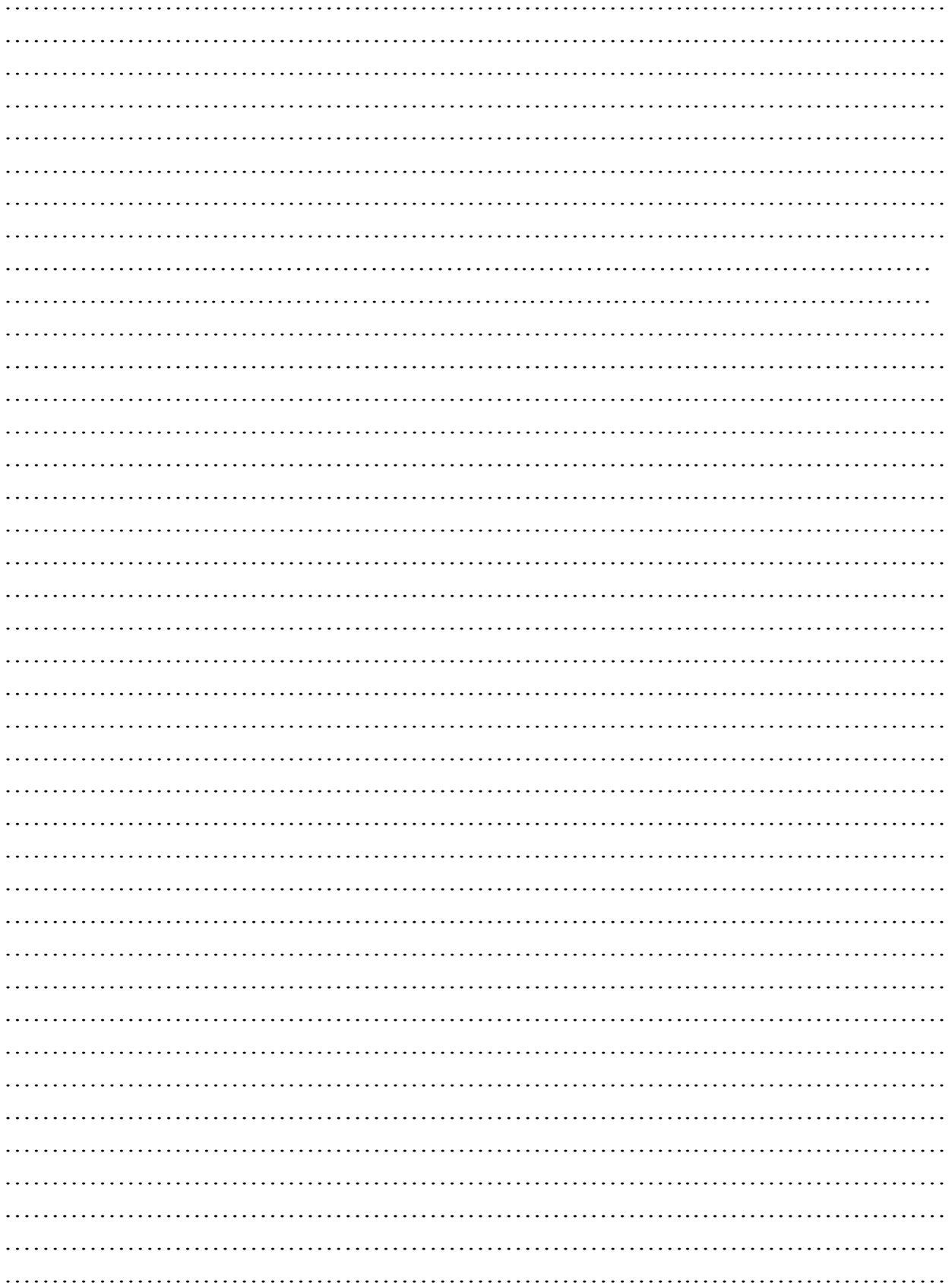
.....

.....

.....

.....

.....



## ДОДАТКИ

### Додаток 1

**Коефіцієнти  $a, b$  для визначення КМПП за апроксимаційною формулою**

$$\Phi_{H(B)} = \frac{100}{a \cdot \beta + b}, \%$$

де  $\beta$  - стехіометричний коефіцієнт реакції горіння;  
 $a, b$  - константи для нижньої і верхньої КМПП:

Область застосування		Константи	
		a	b
Для НКМПП		8,684	4,769
Для ВКМПП	при $\beta \leq 7,5$	1,55	0,56
	при $\beta > 7,5$	0,768	6,554

### Додаток 2

**Коефіцієнти  $h_s$  для визначення КМПП за хімічною будовою горючої речовини**

$$\phi_M = \frac{100}{\sum_{\mu=1}^s h_s m_s}, \%$$

де  $m_s$  - число s-тої структурної групи у будові молекули;

Вид структурної групи	$h_s$	
	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 <sup>3</sup>	2,27	-1,17
C—Cl	0,71	0,71
O—H	0,52	1,25
N—H	1,90	0,69
C ≡ C(аром.)	7,36	0,89



**Залежність  $t_{cc}$  парафінових вуглеводнів (алканів), від ефективної  
довжини карбонового ланцюга**

$l_{сер}$	$t_{cc}, ^\circ C$	$l_{сер}$	$t_{cc}, ^\circ C$	$l_{сер}$	$t_{cc}, ^\circ C$	$l_{сер}$	$t_{cc}, ^\circ C$
<b>3,0</b>	470	<b>6,1</b>	232	<b>9,1</b>	208	<b>12,1</b>	204
<b>3,1</b>	465	<b>6,2</b>	231	<b>9,2</b>	208	<b>12,2</b>	204
<b>3,2</b>	460	<b>6,3</b>	230	<b>9,3</b>	208	<b>12,3</b>	204
<b>3,3</b>	455	<b>6,4</b>	229	<b>9,4</b>	207	<b>12,4</b>	204
<b>3,4</b>	450	<b>6,5</b>	228	<b>9,5</b>	207	<b>12,5</b>	204
<b>3,5</b>	444	<b>6,6</b>	227	<b>9,6</b>	207	<b>12,6</b>	204
<b>3,6</b>	439	<b>6,7</b>	226	<b>9,7</b>	207	<b>12,7</b>	204
<b>3,7</b>	433	<b>6,8</b>	225	<b>9,8</b>	206	<b>12,8</b>	204
<b>3,8</b>	426	<b>6,9</b>	224	<b>9,9</b>	206	<b>12,9</b>	204
<b>3,9</b>	420	<b>7,0</b>	223	<b>10,0</b>	206	<b>13,0</b>	204
<b>4,0</b>	413	<b>7,1</b>	222	<b>10,1</b>	206	<b>13,1</b>	204
<b>4,1</b>	407	<b>7,2</b>	221	<b>10,2</b>	206	<b>13,2</b>	204
<b>4,2</b>	400	<b>7,3</b>	221	<b>10,3</b>	206	<b>13,3</b>	204
<b>4,3</b>	392	<b>7,4</b>	220	<b>10,4</b>	205	<b>13,4</b>	204
<b>4,4</b>	381	<b>7,5</b>	219	<b>10,5</b>	205	<b>13,5</b>	203
<b>4,5</b>	370	<b>7,6</b>	218	<b>10,6</b>	205	<b>13,6</b>	203
<b>4,6</b>	358	<b>7,7</b>	217	<b>10,7</b>	205	<b>13,7</b>	203
<b>4,7</b>	344	<b>7,8</b>	216	<b>10,8</b>	205	<b>13,8</b>	203
<b>4,8</b>	328	<b>7,9</b>	216	<b>10,9</b>	205	<b>13,9</b>	203
<b>4,9</b>	308	<b>8,0</b>	215	<b>11,0</b>	205	<b>14,0</b>	203
<b>5,0</b>	287	<b>8,1</b>	214	<b>11,1</b>	205	<b>14,1</b>	203
<b>5,1</b>	274	<b>8,2</b>	213	<b>11,2</b>	205	<b>14,2</b>	203
<b>5,2</b>	262	<b>8,3</b>	213	<b>11,3</b>	205	<b>14,3</b>	203
<b>5,3</b>	255	<b>8,4</b>	212	<b>11,4</b>	205	<b>14,4</b>	203
<b>5,4</b>	249	<b>8,5</b>	211	<b>11,5</b>	205	<b>14,5</b>	203
<b>5,5</b>	244	<b>8,6</b>	211	<b>11,6</b>	204	<b>14,6</b>	203
<b>5,6</b>	240	<b>8,7</b>	210	<b>11,7</b>	204	<b>14,7</b>	203
<b>5,7</b>	238	<b>8,8</b>	210	<b>11,8</b>	204	<b>14,8</b>	203
<b>5,8</b>	236	<b>8,9</b>	209	<b>11,9</b>	204	<b>14,9</b>	203
<b>5,9</b>	235	<b>9,0</b>	234	<b>12,0</b>	204	<b>15,0</b>	202
<b>6,0</b>	234						

**Залежність температури самоспалахування спиртів від ефективної довжини карбонового ланцюга**

$l_{\text{цеп}}$	$t_{\text{cc}}, ^\circ\text{C}$	$l_{\text{цеп}}$	$t_{\text{cc}}, ^\circ\text{C}$	$l_{\text{цеп}}$	$t_{\text{cc}}, ^\circ\text{C}$	$l_{\text{цеп}}$	$t_{\text{cc}}, ^\circ\text{C}$
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

**Коефіцієнти для визначення температури самоспалахування окремих класів органічних сполук**

$$t_{\text{cc}} = a \cdot t_{\text{cc}}^{\text{алк}} + b$$

Сполуки	a	b
Спирти	0,6796	121,2
Сполуки з гр. – NH <sub>2</sub>	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
Карбонові кислоти	0,7556	86,0

## Теплота утворення простих речовин і продуктів горіння

Речовина	Теплота утворення, $\Delta H^{\circ}_f$ , кДж/моль	Речовина	Теплота утворення, $\Delta H^{\circ}_f$ , кДж/моль
CO <sub>2</sub>	-393,78	CO	-110,50
H <sub>2</sub> O (газ)	-241,84	HF	-268,61
H <sub>2</sub> O (рід)	-285,84	HCl	-92,30
NO	90,37	HBr	-35,98
HCN	130,54	HJ	25,94
NH <sub>3</sub>	-46,19	H <sub>2</sub> S	-20,15
SO <sub>3</sub>	-395,20	SO <sub>2</sub>	-296,90
N <sub>2</sub>	0,00	O <sub>2</sub>	0,00

## Внутрішня енергія продуктів горіння за постійного об'єму

Темпера- тура, К	Внутрішня енергія продуктів горіння, кДж·моль <sup>-1</sup> ,							
	Повітря	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	HF	HCl	HBr	SO <sub>2</sub>
298,15	6,24	6,93	7,49	6,25	6,18	33,57	74,10	42,19
400	8,39	10,11	10,11	8,39	8,31	35,71	76,20	75,61
600	12,74	17,37	15,53	12,68	12,52	39,96	80,50	83,28
800	17,36	25,64	21,43	17,21	16,78	44,32	85,00	91,83
1000	22,23	34,59	27,81	22,00	21,12	48,91	89,70	100,92
1200	27,34	44,02	34,73	27,03	25,61	53,73	94,70	110,33
1400	32,62	53,81	42,13	32,23	30,25	58,74	99,80	119,98
1600	38,05	63,87	49,97	37,58	35,08	63,94	105,10	129,77
1800	43,57	74,07	58,19	43,02	40,07	69,27	110,60	139,69
2000	49,18	84,46	66,77	48,55	45,19	74,74	116,20	149,70
2200	54,88	94,94	75,53	54,09	50,39	80,20	121,70	159,68
2400	60,63	105,54	84,64	59,75	55,75	85,84	127,50	169,77
2600	65,45	116,19	93,95	65,44	61,19	91,54	133,30	180,09
2800	72,30	126,94	103,46	71,15	66,72	97,33	138,90	190,41
3000	78,22	137,72	113,18	76,92	72,36	103,26	145,10	200,78
3200	84,16	148,55	123,04	82,70	78,03	109,05	151,00	211,24
3400	90,14	159,43	133,06	88,51	83,77	114,99	157,10	221,74
3600	96,15	170,36	143,21	94,35	89,58	120,98	163,10	232,34
3800	102,20	181,31	153,49	100,20	95,44	127,02	169,30	243,02
4000	108,26	192,31	163,91	106,07	101,34	133,09	175,40	253,70

## Ентальпія газів за постійного тиску

Температура, К	Ентальпія, кДж·моль <sup>-1</sup> .				
	Повітря	СО <sub>2</sub>	Н <sub>2</sub> О	Н <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
298	8,66	9,35	9,91	8,67	44,61
400	11,64	13,36	13,36	11,64	78,86
600	17,62	22,25	20,41	17,56	88,15
800	23,86	32,14	27,93	23,71	98,33
1000	30,36	42,72	35,94	30,13	109,04
1200	37,09	53,77	44,48	36,78	120,08
1400	44,00	65,19	53,51	43,61	131,35
1600	51,05	76,87	62,97	50,58	142,77
1800	58,20	88,70	72,82	57,65	154,31
2000	65,44	100,71	83,02	64,81	165,95
2200	72,76	112,82	93,41	71,97	177,55
2400	80,14	125,04	104,14	79,26	189,27
2600	86,58	137,32	115,08	86,57	201,21
2800	95,06	149,69	126,22	93,91	213,16
3000	102,60	162,10	137,56	101,30	225,15
3200	110,17	174,55	149,05	108,71	237,24
3400	117,77	187,06	160,69	116,14	249,36
3600	125,41	199,61	172,47	123,61	261,59
3800	133,08	212,19	184,37	131,08	273,89
4000	140,77	224,81	196,42	138,58	286,20

## Визначення ТМПП за гомологічними рядами.

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

де  $k, l$  - коефіцієнти гомологічних рядів,  
 $t_{кип}$  - температура кипіння рідини.

Гомологічний ряд	Формула	Константи НТМПП		Константи ВТМПП	
		k	l	k	l
н-алкани	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> )-CH <sub>3</sub>	0,6957	73,8	0,7874	50,3
2-Метилалкани	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -CH <sub>3</sub>	0,6885	74,9	0,7900	52,2
н- алкени-1	CH <sub>2</sub> =CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -CH <sub>3</sub>	0,6867	74,5	0,7976	49,5
1-Фенілалкани	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -CH <sub>3</sub>	0,6751	70,2		
н-жирні спирти	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -OH	0,5746	33,7	0,6928	15,0
Ізоалкілкарбіноли	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -OH	0,6582	44,1	0,7278	21,5
Складні ефіри мурашиної кислоти	HCOO-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -CH <sub>3</sub>	0,5359	47,6	0,6050	25,0
Складні ефіри оцтової кислоти	CH <sub>3</sub> COO-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -CH <sub>3</sub>	0,5940	50,9	0,7761	40,8
Первинні н-алкіламіни	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -NH <sub>2</sub>	0,5004	54,6		

Визначення ТМПП за структурою молекули.

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

для НТМПП  $a_0 = -62,40^\circ\text{C}$  ;  $a_1 = 0,655$

для ВТМПП  $a_0 = -41,43^\circ\text{C}$  ;  $a_1 = 0,723$

$l_j$  - число структурних груп  $j$ -го типу,

Вид структурної групи	$a_j, \text{ } ^\circ\text{C}$		Вид структурної групи	$a_j, \text{ } ^\circ\text{C}$	
	$t_n$	$t_b$		$t_n$	$t_b$
C - C	-0,909	-1,158	C - N	-2,14	0,096
C = C	-2,66	-4,64	N - H	6,53	6,152
C - H	-0,009	0,57	O - H	19,75	17,8
C - O	0,11	1,267	C = O	5,570	5,58
C $\equiv$ C (аром)	-0,733	-0,767			

Константи  $a_j, \text{ } ^\circ\text{C}$  структурних груп для визначення температури спалаху

$$t_{сп} = a_0 + a_1 t_{кип} + \sum a_j l_j$$

$a_0 = -73,14, \text{ } ^\circ\text{C}$

$a_1 = 0,659$

$l_j$  – число структурних груп  $j$ -го типу

структурна група	$a_j, \text{ } ^\circ\text{C}$	структурна група	$a_j, \text{ } ^\circ\text{C}$
C-C	-2,03	C - Cl	15,11
C $\equiv$ C	-0,28	C- Br	19,40
C= C	1,72	C - Si	-4,84
C - H	1,105	N - H	5,83
C - O	2,47	O - H	23,90
C = O	11,66	S - H	5,64
C - N	14,15	P - O	3,27
C $\equiv$ N	12,13	C - S	2,09

Емпіричні константи  $a$  і  $b$  для визначення температури спалаху

$$t_{\text{сп}} = a + b \cdot t_{\text{кип}}$$

Клас речовин	Коефіцієнти	
	$a, ^\circ\text{C}$	$b$
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

Емпіричний коефіцієнт  $f$  для визначення температури спалаху суміші залежно від її складу.

$$t_{\text{сп.сум.}} = \frac{At_{\text{сп.А}} + Bt_{\text{сп.В}} - f(t_{\text{сп.А}} - t_{\text{сп.В}})}{100}$$

% A	%B	f	%A	%B	f
100	0	0	50	50	25,99
95	5	12	45	55	23,9
90	10	20	40	60	21,7
85	15	26	35	65	19,4
80	20	29,2	30	70	17
75	25	30,4	25	75	14,5
70	30	30,3	20	80	11,9
65	35	30	15	85	9,2
60	40	29	10	90	6,5
55	45	27,6	5	95	3,3

A – рідина з більшою температурою спалаху

Значення коефіцієнтів  $h_j$ ,  $h_s$  для визначення КМПП за хімічним складом горючої речовини

$$\varphi_H = \frac{100}{1 + h_f \Delta H_f^0 + \sum_{j=1}^n h_j m_j + \sum_{s=1}^q h_s m_s}, \%$$

де  $h_f = 0,0246$

$\Delta H_f^0$  - теплота утворення речовини, кДж/кмоль;

$m_j$ ,  $m_s$  - число атомів та структурних груп.

$h_j$					$h_s$	
$h_C$	$h_H$	$h_O$	$h_N$	$h_{Cl}$	$h_{C=C}$	$h_{-CVC-}$ 0
9,134	2,612	-0,522	-0,494	-3,57	7,88	6,50

Значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  для визначення НКМПП пилу за формулою Шоневальда:

$$\varphi_H' = a + \frac{b \cdot 10^6}{Q_H'}, \text{ г/м}^3.$$

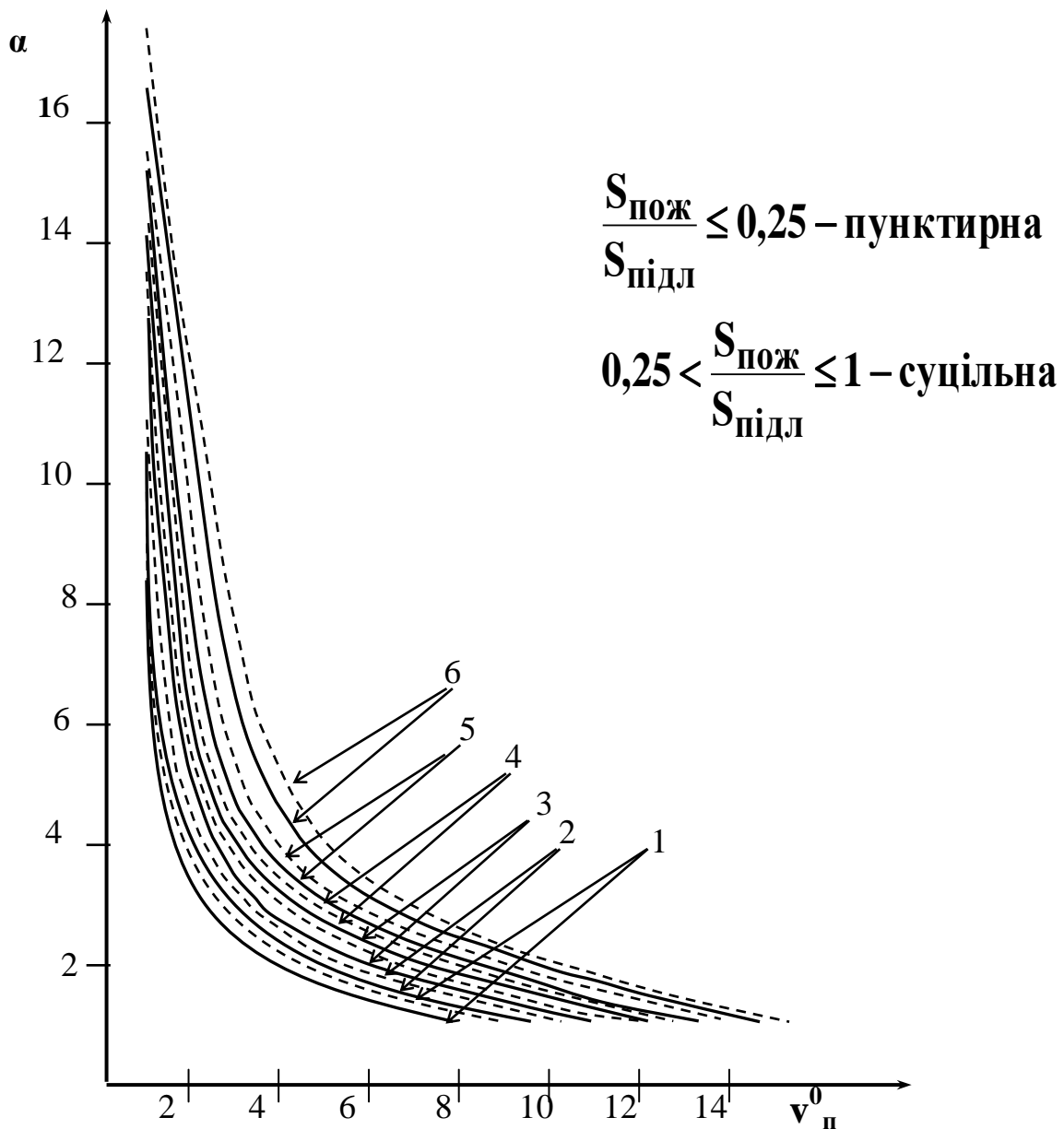
Пил	$a$	$b$
технічний	-0,604	1,194
палива	-7,952	1,394
металевий	-1,54	1,132
органічних речовин	-2,524	1,235

Коефіцієнти формули визначення флегматизуючої концентрації негорючих газів

$$\varphi_{фл} = 100 \frac{h_f' \Delta H_f^0 + h_\phi' + \sum h_j' m_j}{h_\phi'' - 1 + \sum h_j'' m_j}$$

Коефіцієнти	Значення коефіцієнтів при розведенні суміші		
	$N_2$	$H_2O$ (пара)	$CO_2$
$h_f'$ моль·кДж <sup>-1</sup>	$0,865 \cdot 10^{-2}$	$0,802 \cdot 10^{-2}$	$0,736 \cdot 10^{-2}$
$h_\phi'$	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
$h_\phi''$	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

## Номограма визначення коефіцієнта надлишку повітря



Крива 1 –  $S_{\text{прип}}/S_{\text{пож}} \leq 0,04$

Крива 2 –  $0,04 < S_{\text{прип}}/S_{\text{пож}} \leq 0,06$

Крива 3 –  $0,06 < S_{\text{прип}}/S_{\text{пож}} \leq 0,10$

Крива 4 –  $0,10 < S_{\text{прип}}/S_{\text{пож}} \leq 0,17$

Крива 5 –  $0,17 < S_{\text{прип}}/S_{\text{пож}} \leq 0,25$

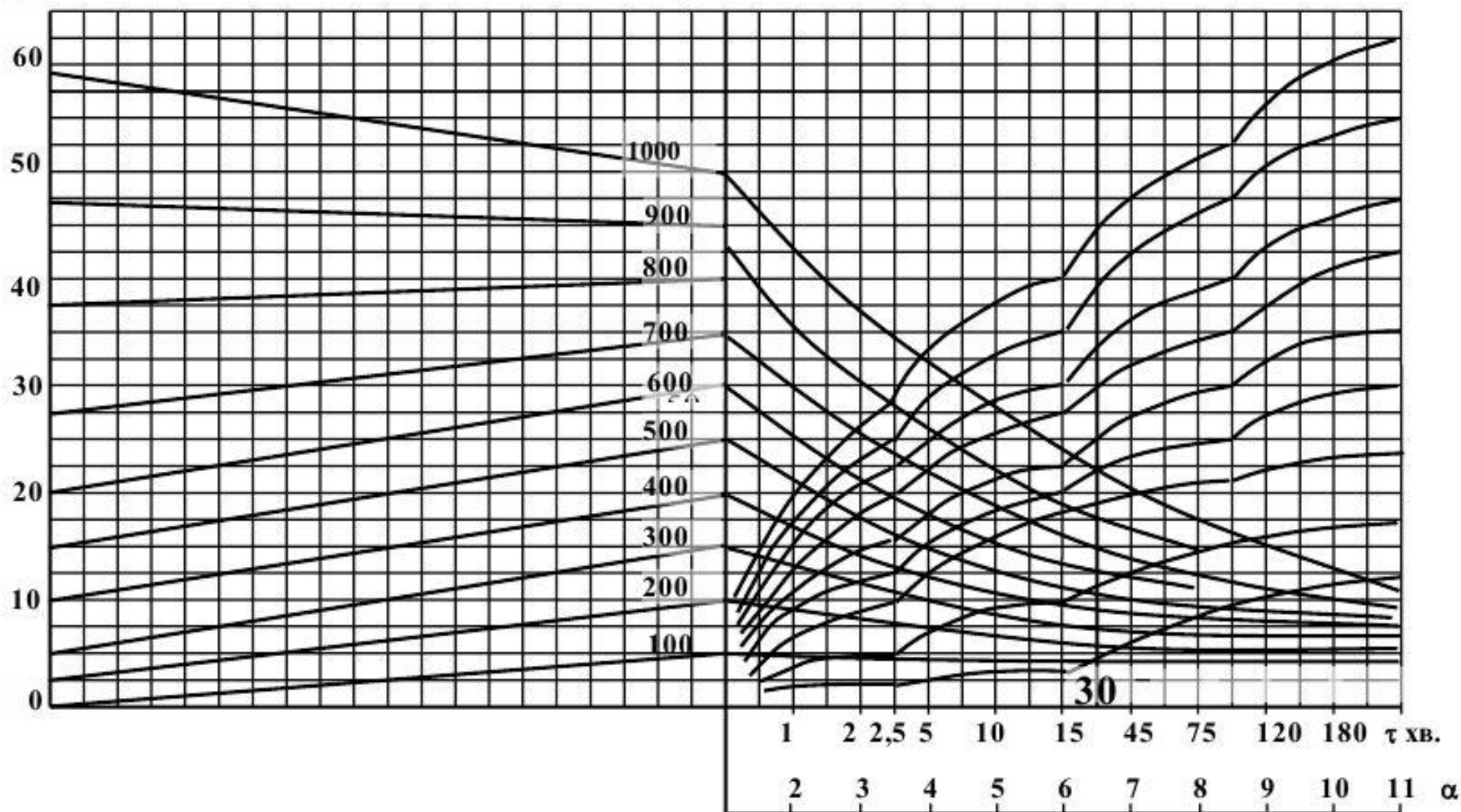
Крива 6 –  $0,25 < S_{\text{прип}}/S_{\text{пож}}$



# Додаток № 18 Номограма визначення температури пожежі в огороженні

$q, \text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$

$t, ^\circ\text{C}$



*Навчальне видання*

**ТЕОРІЯ ГОРІННЯ ТА ВИБУХУ**

Робочий зошит  
для лабораторних робіт

Підписано до друку 03.10.2024. Формат 60x84 1/16.  
Умовн.-друк. арк. 5,7.  
Вид. № 41/24.

Сектор редакційно-видавничої діяльності  
Національного університету цивільного захисту України  
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.  
[www.nuczu.edu.ua](http://www.nuczu.edu.ua)