

**Кафедра радіаційного і хімічного захисту
Національний університет цивільного захисту України**

**№
картки**

10		
11		
12		
13		
14		

**Теорія розвитку та припинення горіння
Робочий зошит №2**

Група _____

Прізвище, ініціали _____

Друкується за рішенням кафедри радіаційного і
хімічного захисту НУЦЗ України
Протокол від 29.08.2025 р. № 1

Укладачі: Д.Г. Трегубов

Теорія розвитку та припинення горіння: робочий зошит / Укла-
дачі: Д.Г. Трегубов. - Черкаси: НУЦЗ України. – 2025. – 42 с.

© Трегубов Д.Г., 2025

© НУЦЗ України, 2025

ЗМІСТ

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ

ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ... ..2

НАДАННЯ ПЕРШОЇ ДОПОМОГИ.....3

ПОЖЕЖА ТА ЇЇ РОЗВИТОК.....5

**Робота № 9 Дослідження тепло- та масообміну пожежі
в огороженні.....9**

ПРИПИНЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ.....15

**Робота № 10 Дослідження механізму припинення горіння охоло-
дженням.....20**

**Робота № 11 Дослідження механізму припинення горіння ізоляцією
..... 24**

**Робота № 12 Дослідження механізму припинення горіння
розведенням.....28**

**Робота № 13 Дослідження механізму припинення горіння методом
хімічного гальмування реакції.....33**

ДОДАТКИ36

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. До роботи в лабораторії допускаються особи, що пройшли первинний інструктаж із безпеки праці. Виконання поточної роботи здійснюється після інструктажу і відповідного запису в журналі з техніки безпеки.
2. До виконання роботи допускаються особи, що знають мету і порядок проведення роботи, знайомі із устроєм та призначенням лабораторного устаткування.
3. Під час проведення лабораторної роботи слід точно додержуватись порядку її проведення. Безпосереднє виконання допускається після дозволу викладача. Із незрозумілих питань, що з'являються під час роботи, звертатись по допомогу до викладача.
4. Всі роботи із легкозаймистими (ЛЗР) і горючими рідинами (ГР) проводять у витяжній шафі або 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 випадку аварійної ситуації.
7. При користуванні газовими пальниками не допускати "проскакування" полум'я в середину пальника. В цьому разі слід негайно перекрити на газопроводі подачу горючого газу в пальник. Під час проведення робіт необхідно бути обережними і не торкатись частин лабораторного устаткування, що знаходяться в зоні теплового впливу і мають підвищену температуру.
8. Теплові електричні прилади, розжарені і гарячі предмети до повного остигання слід розташовувати на теплоізоляційних прокладках.
9. Категорично заборонено зливати в каналізацію вогненебезпечні рідини, засмічувати твердими предметами раковини.
10. В лабораторії категорично заборонено мити обладнання, підлогу, столи органічними розчинниками.
11. Після закінчення роботи необхідно вимкнути газ, електроенергію і воду, провести прибирання робочих місць, приладів і обладнання.
12. Місця для проведення лабораторних робіт повинні відповідати вимогам електробезпеки і санітарно-гігієнічним вимогам за.

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, що 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.

При незначних опіках можна обмежитись змазуванням обпеченої частини шкіри 2—3% розчином марганцевокислого калію та накладанням стерильної пов'язки (на обличчя пов'язку накладати не слід).

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

Допомога. Якщо одяг потерпілого просочився хімічною речовиною, його треба швидко зняти, розрізати чи розірвати на місці події. Механічно видаляють речовини, що потрапили на шкіру, енергійно змивають їх струменем води. Якщо є можливість, то після промивання водою обпечені частини обмивають такими розчинами: у випадках опіку кислотами — 2% розчином соди чи мильною водою; у випадках опіку лугами — 1-2% розчином оцтової, лимонної чи борної кислоти. В разі опіку фосфором роблять примочки з 5% розчину марганцевокислого калію. Після цього накласти суху пов'язку.

При потраплянні хімічної речовини у дихальні шляхи необхідно прополоскати горло водним 3% розчином борної кислоти, цим же розчином промивають очі.

Отруєння. Виникають внаслідок дії отрути різного походження.

Допомога. До прибуття лікаря необхідно припинити контакт потерпілого з отруйною речовиною та видалити її з організму. Залежно від шляху потрапляння отрути, визначається характер першої допомоги. Оскільки отрути можуть потрапляти в організм трьома шляхами — через шлунково-кишковий тракт, органи дихання та шкіру або слизисті оболонки, то цим визначається.

Якщо отрута (за винятком 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 із розрахунку 1 таблетка на 10 кг маси тіла. Кишечник очищається за допомогою сольового проносного — 20 г гіркої солі (Na_2SO_4) на 0,5 склянки води.

У разі отруєння газами або випарами потерпілому забезпечують приплив свіжого повітря, звільняють від одягу, який утруднює дихання. При зупинці дихання — проводити штучне дихання.

Отруєння кислотами та лугами

Допомога. Негайно видалити слину та сліз з рота потерпілого. Промивати шлунок водою не можна, оскільки це може викликати блювання і призвести до потрапляння отрути у дихальні шляхи. Можна дати потерпілому 2-3 склянки води, щоб розбавити кислоту чи луг і зменшити їх агресивну дію. Не можна нейтралізувати кислоту, що потрапила у шлунок, лугом і навпаки, оскільки при цьому утворюється велика кількість вуглекислого газу, що призводить до розтягування шлунка, посилення болю та кровотечі. Якщо виникли ознаки задухи, проводять штучне дихання - способом «з рота в ніс».

Отруєння окисом карбону.

Допомога – діяти, як при потраплянні отрути у дихальні шляхи.

Електричні травми внаслідок протікання через організм електричного струму, дії електричної дуги або блискавки.

Місцеві електротравми – чітко окреслені місцеві порушення цілісності окремих ділянок та тканин тіла під впливом електричного струму або електричної дуги.

Загальні електротравми чотирьох ступенів:

I – судоми з болями, але без втрати свідомості;

II – судомни із втратою свідомості та/або зупинкою дихання;

III – втрата свідомості і порушення серцевої діяльності;

IV – клінічна смерть.

Допомога. Негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму. Для цього вимкнути ділянку електричної мережі або електрообладнання, до якого дотикається людина. Якщо вимкнення здійснити неможливо, звільнити людину від дії електричного струму можна, відтягнувши її від джерела струму або ж відкинувши дрід від людини (якщо людина торкається дроту). При цьому людині, яка надає допомогу, необхідно дотримуватись правил безпеки. У разі напруги до 1000 В дрід від людини можна відкинути сухою палкою або дошкою. Відтягти потерпілого від джерела струму руками, надягнувши діелектричні рукавиці або ж накинувши на них сухий одяг. Краще при цьому стати на дошку, одяг або будь яку іншу не струмопровідну підстилку. У разі напруги понад 1000 В для звільнення потерпілого можна використовувати лише ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі, одягнувши діелектричні рукавички і взувши діелектричні боти.

Звільнивши потерпілого від дії електричного струму, в разі зупинки дихання і серцебиття робити штучне дихання і непрямий масаж серця

ПОЖЕЖА ТА ЇЇ РОЗВИТОК

Теоретичне обґрунтування роботи

Під розвитком пожежі розуміють зміну основних параметрів пожежі в часі та просторі. Найголовнішими параметрами пожежі які змінюються в часі, є площа пожежі, температура пожежі, інтенсивність задимлення на пожежі.

На початковій стадії більшості пожеж горінням ТГМ, починається з дії джерела запалювання на невеликій ділянці. Це перша фаза - перехід загоряння в пожежу з повільною зміною середньооб'ємної температури. Тривалість цієї фази залежить від місця виникнення загоряння, розташування горючого матеріалу, розмірів приміщення, виду горючого матеріалу, умов газообміну. Друга фаза - об'ємний розвиток пожежі. Поступово збільшується температура газового середовища в приміщенні, що інтенсифікує процеси розкладання та виділення горючих летючих продуктів. Зростає лінійна швидкість поширення полум'я і площа пожежі, полум'я заповнює практично весь об'єм приміщення, а під впливом конвективних та променистих потоків тепла займаються матеріали, які відстоять від зони горіння. При зростанні середньооб'ємної температури у приміщенні до 300 °С руйнується скління, з чим починається третя фаза пожежі. Спочатку температура трохи знижується за рахунок великої маси холодного повітря, але надалі зростає ще швидше.

Після 20–30 хв. розвитку залежно від розмірів приміщення починається друга стадія - розвинена пожежа, коли всі параметри пожежі стабілізуються. Ця стадія може тривати ще 20-30 хв. залежно від величини пожежної навантаги.

Третя стадія пожежі - догоряння, характеризується, поступовим зниженням, температури та задимлення, так як основна частина горючих матеріалів вже вигоріла. Гомогенне горіння переходить в тління. Площа пожежі при цьому не змінюється, але площа горіння скорочується.

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. Зовнішня межа зони задимлення є там, де видимість знижена до 6–12 метрів, вміст кисню в повітрі менший 16% і концентрація токсичних газів викликає отруєння людей.

Під час пожежі в огороженні тепло і масообмін обмежений огорожуючими конструкціями, тепло і дим накопичуються в приміщенні. Зона задимлення характеризується зниженим вмістом кисню та підвищеним вмістом токсичних речовин, а зона теплового впливу характеризується критичною температурою, та критичною величиною густини теплового потоку. 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), часу досягнення критичної температури або вмісту кисню в приміщенні розраховують за формулами (хв):

$$\tau_{кр}^t = 71 \frac{V_{прим}}{\eta Q'_H S_{пож} v_m};$$

$$\tau_{кр}^{O_2} = \frac{0,33 V_{прим}}{\eta S_{пож} v_m v_{пов}^0} \cdot \eta$$

Для приміщень, у яких горять тверді горючі матеріали, з урахуванням збільшення площі пожежі у часі критичний час перебування людей визначають наступним чином:

$$\tau_{кр}^t = 2,97 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta Q'_H v_1^2 v_m}}; \eta$$

форма розвитку пожежі – коло (хв):

$$\tau_{кр}^{O_2} = 0,472 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta v_1^2 v_m v_{пов}^0}},$$

$$\tau_{кр}^t = 3,73 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta Q'_H v_1^2 v_m}}; \eta$$

форма розвитку пожежі – півкола (хв):

$$\tau_{кр}^{O_2} = 0,595 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta v_1^2 v_m v_{пов}^0}},$$

$$|\tau_{кр}^t = 4,7 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta Q'_H v_1^2 v_m}}; \eta$$

форма розвитку пожежі – чверть кола (хв):

$$\tau_{кр}^{O_2} = 0,749 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta v_1^2 v_m v_{пов}^0}},$$

де V_1 – лінійна швидкість поширення горіння, м/хв;

v_m – масова швидкість вигорання, $\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$; $v_{\text{пов}}^0$ – питомий об'єм повітря для згорання горючої речовини, $\text{м}^3/\text{кг}$;

Q_n' – масова теплота згорання горючої речовини, $\text{кДж}/\text{кг}$;

$S_{\text{пож}}$ – площа пожежі, м^2 ; η – коефіцієнт повноти згорання.

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

Температура пожежі в огорожі 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 μ за номограмою (додаток 17) та густину теплового потоку за формулою:

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

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

Процес горіння є рушійною силою у формуванні конвекційних газових потоків. Густина продуктів горіння в нижній і верхній частині приміщення відрізняється від густини навколишнього повітря. Але на деякій висоті від рівня підлоги приміщення фізичні параметри газового середовища відповідають фізичним параметрам повітря поза приміщенням. Відповідно і тиск газового середовища буде таким же, як і тиск повітря поза приміщенням. Цю площину називають **нейтральною зоною** або площиною рівних тисків.

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

Коли газообмін здійснюється через отвори, розташовані на одному рівні, нейтральна зона розташовується у площині отворів, через які відбува-

ється газообмін. При цьому вище нейтральної зони продукти горіння видавлюються назовні, а у нижній частині отвору відбувається підсос повітря в у середину приміщення. Висоту нейтральної зони в цьому випадку проводять 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.

У випадку, 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 зазвичай 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 $S_{\text{прип}}$, $S_{\text{вит}}$ – площа припливного та витяжного отвору, м^2 ; $h_{\text{прип}}$ – висота припливного отвору, м; H – відстань між центрами припливного (нижнього) та витяжного (верхнього) отворів, м.

З метою регулювання висоти нейтральної зони вживають заходи: зниження температури й осадження продуктів горіння розпиленими струменями води, регулювання співвідношення площ припливних і витяжних отворів, встановлення димовсмоктувачів. Нейтральна зона завжди розташовується ближче до тих отворів, площа яких більше.

РОБОТА № 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛО - ТА МАСООБМІНУ ПОЖЕЖІ В ОГОРОДЖЕННІ

Мета роботи:

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

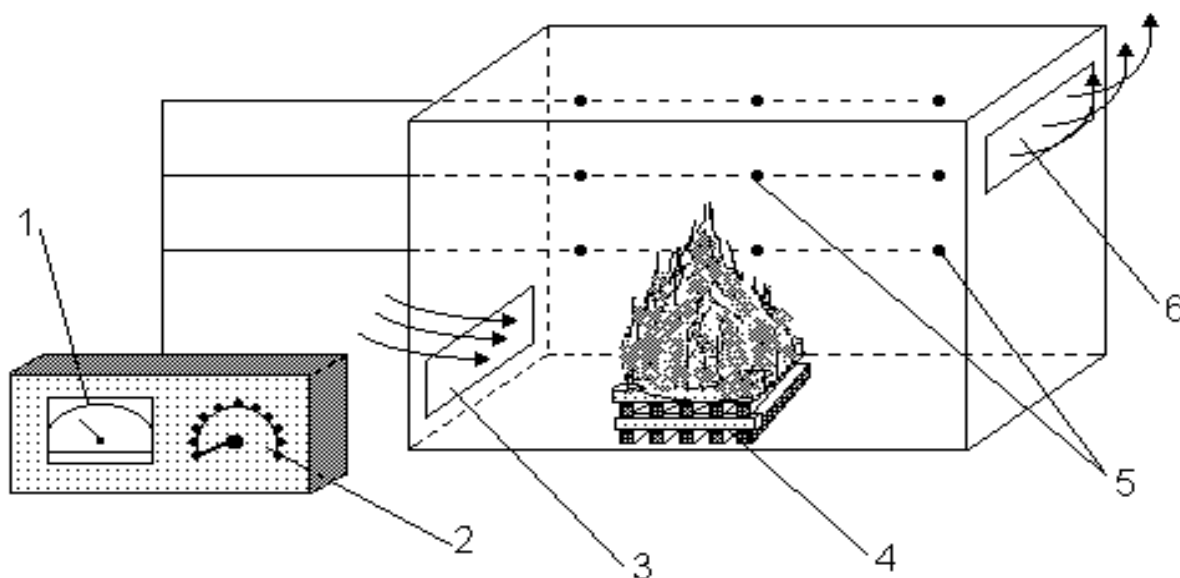
Речовина, що досліджується

Умови проведення досліду:

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

РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Схема лабораторної установки



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

1. Розрахунок часу досягнення критичних параметрів пожежі в приміщенні

1.1. Параметри горючої речовини

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

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

1.2. Параметри приміщення

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

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

1.3. 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 отво- ру, м ²		α	Темп. пож., °С		Висота нейтр. зо- ни, м	
	ниж	вер	ниж	вер		розр.	факт	розр	факт

2.1. Визначення коефіцієнту надлишку повітря α за номограмою:

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

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

$$\alpha = \dots\dots\dots (\text{за номограмою, додаток 2}).$$

2.2. Визначити температуру пожежі в приміщенні (за номограмою, додаток 3):

Розрахувати густину теплового потоку

$q =$, кВт/м^2

$t_{\text{пож}} =$, $^{\circ}\text{C}$.

2.3. Розрахувати висоту нейтральної зони:

$h_{\text{нз}} =$

$h_{\text{нз}} =$

$h_{\text{нз}} =$

.....

.....

.....

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Порядок проведення дослідження:

1.

.....;

2.

.....

.....;

3.

.....

.....;

4.

.....

.....

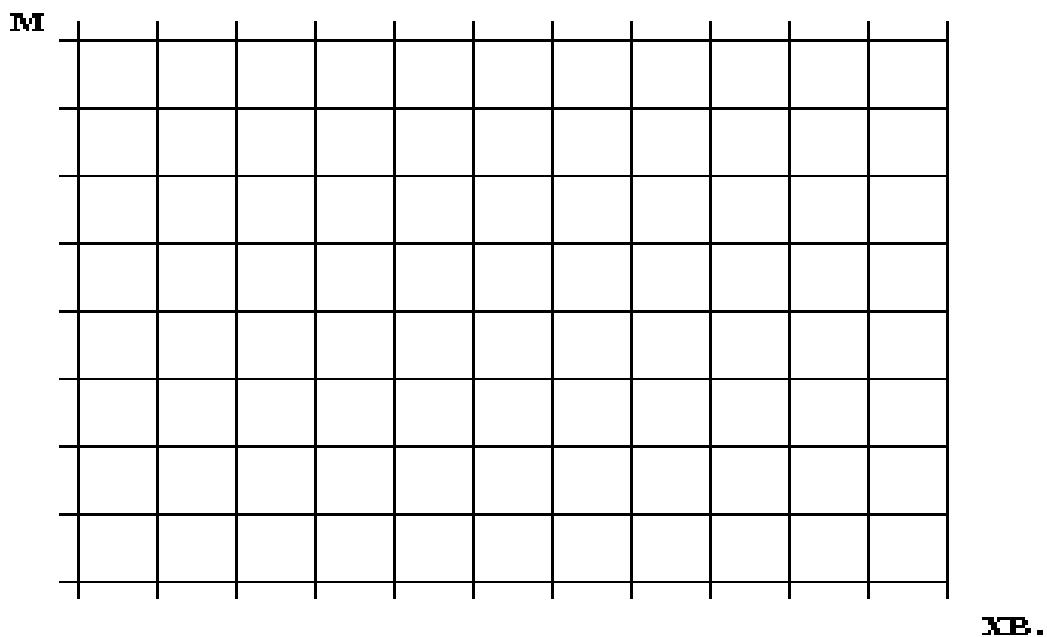
.....;

Таблиця результатів дослідів

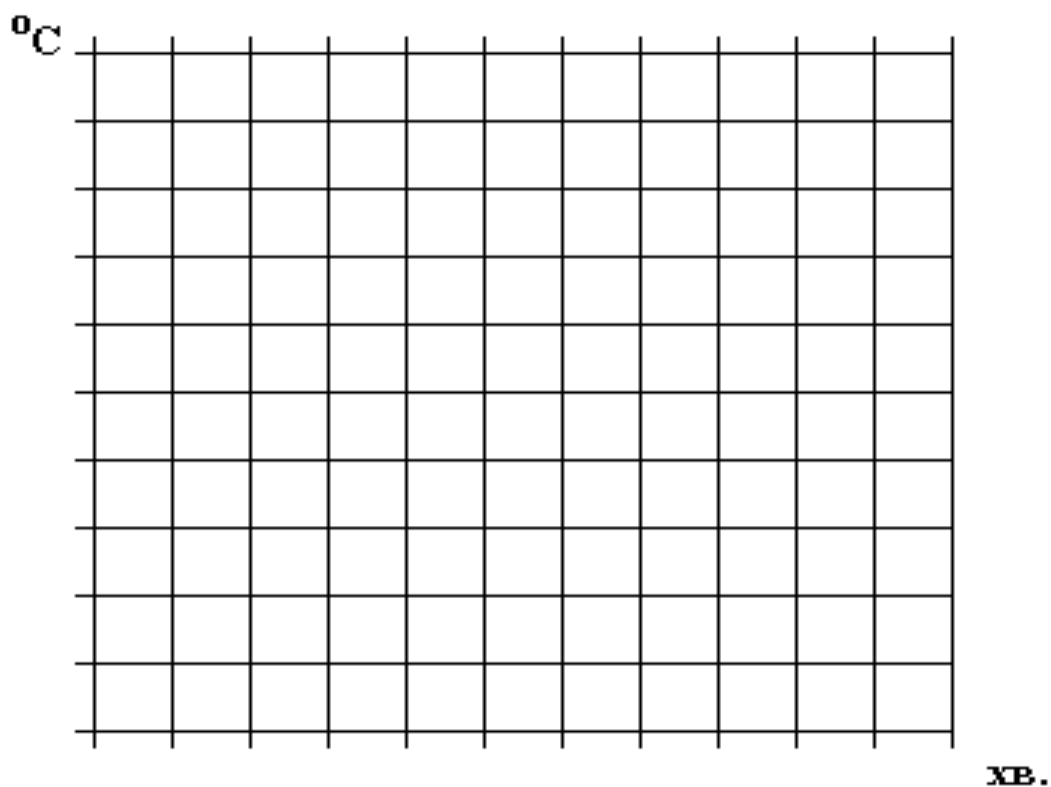
час, хв.	Показання термодат, °C									середня t, °C.	h нейтр. зони, м
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Обробка результатів дослідів

Графік зміни висоти нейтральної зони



Графік зміни температури пожежі



[illegible]

Умови задачі:.....

[illegible][illegible]

[illegible]

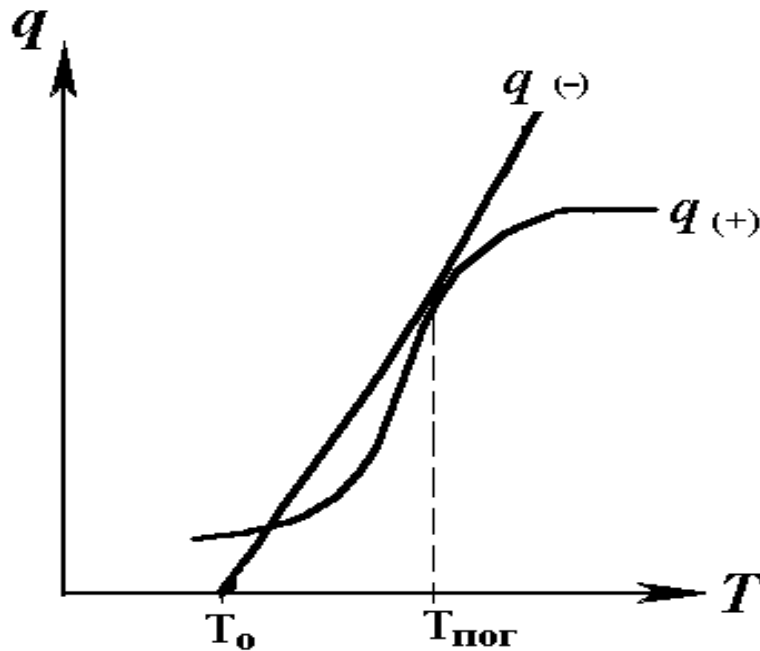
ПРИПИНЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

Теоретичне обґрунтування роботи

Горіння відбувається при 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:



Критична умова припинення горіння

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

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

де $E_{акт}$ — енергія активації системи, кДж/моль;

R - універсальна газова стала, кДж/(моль К);

T - температура суміші, що реагує, К.

Q_n - теплота згоряння речовини, кДж/моль;

$V_{гс}$ - об'єм горючої суміші (реакційної посудини);

k — константа реакції.

Інтенсивність сумарного процесу тепловіддачі від поверхні фронту полум'я $S_{тв}$ буде визначатися променистою та конвективною теплопередачею за рівнянням:

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

де $T_{гор}$ - температура горіння суміші; T_0 - температура навколишнього середовища; $S_{тв}$ - площа тепловіддачі; α_k - коефіцієнт конвекційної тепловіддачі. σ – стала Больцмана; ϵ – ступінь чорноти 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 нижче критичного значення. Температура, нижче якої горіння стає неможливим називають температурою погасання. При зниженні температури в зоні горіння до температури погасання дифузійне горіння припиняється навіть за наявності горючої речовини й окисника.

Порушення термодинамічної рівноваги системи відбувається при зниженні температури у зоні реакції $T_{пл}$ на деяку критичну величину ΔT . У роботах Я.Б. Зельдовича обґрунтовано величину максимально можливого зниження температури дифузійного полум'я:

$$\Delta T = \frac{3RT_{ад}^2}{E_{акт}},$$

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

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

Порушення теплової рівноваги в зоні горіння можна здійснити за рахунок або зниження інтенсивності тепловиділення в зоні реакції нижче граничного значення, або підвищення інтенсивності тепловіддачі від системи у навколишнє середовище, або за рахунок одночасного зниження інтенсивності тепловиділення і підвищення інтенсивності тепловіддачі доки температура в зоні реакції не знизиться до критичного значення – температури погасання.

Для реалізації цих методів припинення горіння використовують певні *способи пожежогасіння*:

- зменшення концентрацій компонентів, що реагують, внаслідок припинення доступу окисника чи горючої речовини в зону горіння або додавання в систему негорючих компонентів;
- збільшення енергії активації горючої системи внаслідок введення в систему інгібіторів;
- зниження температури середовища біля зони горіння шляхом подачі речовин з низькою початковою температурою, високою теплоємністю і теплотою фазового переходу;
- збільшення коефіцієнтів тепловіддачі шляхом підвищення 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.

Способи пожежогасіння реалізують з використанням певних *тактичних прийомів* припинення горіння:

1. Охолодження:

1.1) зони горіння до температури менше, ніж температура погасання;

1.2) поверхні конденсованої горючої речовини до температури менше за критичну (для рідин – температура спалаху, для ТГМ – температура піролізу).

2. Розбавлення:

2.1) зони горіння негорючими газами;

2.2) горючих рідин взаємно розчинними негорючими домішками.

3. Ізоляція:

3.1) горючої речовини від зони горіння;

3.2) окисника від зони горіння;

3.3) зони горіння як джерела запалювання від горючої суміші.

4. Хімічне гальмування реакції горіння.

Поняття способу пожежогасіння включає в себе не тільки механізм припинення горіння, але і тактичні особливості *подавання вогнегасного складу в зону горіння*. Розрізняють *об'ємний і поверхневий спосіб гасіння*.

При виникненні горіння в умовах обмеженого повітрообміну можна використовувати *спосіб об'ємного гасіння*, при якому вогнегасні засоби подають всередину об'єму, що захищається, при цьому вони розбавляють горюче середовище або витісняють повітря з приміщення чи апарату.

При гасінні пожежі на відкритому просторі застосування вогнегасних засобів об'ємного гасіння є малоефективним, отже у даному випадку використовують переважно *поверхневий спосіб гасіння*, коли вогнегасну речовину подають на поверхню горючої речовини. Це можливо лише, якщо горюча речовина знаходиться у конденсованому стані.

Основними *засобами гасіння пожеж* є вогнегасні речовини. Під ***вогнегасними речовинами*** розуміють такі речовини, які можуть безпосередньо впливати на процес горіння і створювати умови для його припинення, або попереджати процес виникнення горіння.

Вогнегасні речовини повинні відповідати ***певним вимогам***, до яких можна віднести:

- ♦ висока вогнегасна ефективність;
- ♦ екологічна безпека речовини і відсутність шкідливих побічних впливів

при застосуванні як для людей, так і для технологічного обладнання;

- ◆ зручність транспортування і подачі в осередок пожежі;
- ◆ можливість тривалого зберігання без зміни властивостей;
- ◆ доступність і відносна необмеженість запасів речовини;
- ◆ економічність (дешевизна).

Іноді вогнегасні речовини не відповідають всім вимогам, але великі переваги в деяких інших пунктах обумовлюють застосування цих речовин в практиці пожежогасіння.

Вибір способу гасіння пожежі і вогнегасного засобу залежить від характеру пожежі й визначається:

- фізико-хімічними властивостями речовин, що горять;
- параметрами пожежі (площею, температурою тощо);
- видом пожежі (в огороженні чи на відкритому просторі);
- умовами тепло- й газообміну на пожежі;
- наявністю та кількістю вогнегасних засобів;
- ефективністю способу гасіння пожежі.

Передусім, потрібно врахувати, що **забороняється застосовувати вогнегасні речовини**, які можуть:

1. Бурхливо реагувати з горючими речовинами і підтримувати процес горіння; так, CO_2 підтримує процес горіння легких металів і з цієї причини не може бути використанні як вогнегасний засіб.

2. Реагувати з іншими речовинами з виділенням горючих продуктів реакції. Наприклад, вода при взаємодії з карбідами може реагувати з виділенням ацетилену, який в свою чергу є пожежо- та вибухонебезпечним газом. При попаданні води на азид свинцю відбувається його вибух.

3. Взаємодіяти з горючими речовинами з утворенням вибухонебезпечних продуктів реакції. Так забороняється застосування азоту при гасінні деяких металів тому, що внаслідок реакції утворюються азиди - вибухонебезпечні продукти.

Визначальною умовою вибору вогнегасного засобу є клас пожежі. Для визначення показників роботи підрозділів при гасінні пожежі, правильності вибору вирішального напрямку, вибору вогнегасного засобу, прийомів і способів подачі використовують такі параметри процесу гасіння пожежі.

Час гасіння $\tau_{\text{гас}}$ – час від початку подачі вогнегасної речовини до припинення горіння.

Вогнегасна ефективність E – зворотна величина найменшій концентрації вогнегасної речовини, при якій досягається процес припинення горіння. Чим менша вогнегасна концентрація речовини, тим більша її ефективність. Чим менша вогнегасна ефективність засобу, тим більший час гасіння та загальна витрата речовини.

Загальна кількість вогнегасної речовини m – кількість вогнегасного засобу, що подається за час гасіння пожежі на загальну площу пожежі або в об'єм приміщення.

Інтенсивність подачі I – кількість вогнегасного засобу, що подається в одиницю часу на одиницю розрахункового параметра пожежі (фронту, площі пожежі або об'єму приміщення, в якому відбувається пожежа).

Загальна витрата G – кількість вогнегасної речовини, що було витрачено під час гасіння пожежі на одиницю розрахункового параметра пожежі.

Питома витрата – кількість вогнегасного засобу, що витрачається в одиницю часу на гасіння розрахункового параметра пожежі.

Витрата вогнегасного засобу залежить від часу гасіння і інтенсивності його подачі. За малої інтенсивності подачі час гасіння збільшується, при зростанні інтенсивності подачі – час гасіння зменшується. Існує *критична інтенсивність подачі*, при якій гасіння не буде досягнуто ніколи (час гасіння наближається до нескінченності). Чим більше розрахунковий час гасіння, тим менше інтенсивність подачі вогнегасного засобу.

РОБОТА № 10
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ ОХОЛО-
ДЖЕННЯМ

Мета роботи:

.....

.....

.....

Речовина, що досліджується.....

Вогнегасна речовина.....

Умови проведення досліду:

- Температура:°C;

- Атмосферний тиск:кПа;

РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

1. Визначити теоретичну інтенсивність подачі води:

1.1. Параметри горючої речовини

$\eta = \dots\dots\dots$; $v_m^0 = \dots\dots\dots \text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$; $Q_n' = \dots\dots\dots \text{кДж}/\text{кг}$;

$K_{\Pi} = \dots\dots\dots$; $t_{\text{гор}} = \dots\dots\dots ^\circ\text{C}$; $I_n = \dots\dots\dots \text{л}/(\text{м}^2\text{с})$

1.2. Розрахунок питомої теоретичної охолоджуючої здатності води з урахуванням втрат:

$c_{\text{ррід}}=4,19 \text{ кДж}/(\text{кг К})$, $c_{\text{рпар}}=1,96 \text{ кДж}/(\text{кг К})$, $H_{\text{вип}}=2260 \text{ кДж}/\text{кг}$,

$q_{\text{охол}} = 0,7c_{\text{ррід}}(t_{\text{кип}}-t_0) + 0,55H_{\text{вип}} + 0,4c_{\text{рпар}}(t_{\text{гор}}- t_{\text{кип}}) =$

.....

.....; $\text{кДж}/\text{кг}$

1.3. Розрахунок питомої теоретичної витрати води на гасіння:

$g_{\text{охол}} = 0,1 \frac{Q_n'}{q_{\text{охол}}} = \dots\dots\dots$; $\text{л}/\text{кг}$.

1.4. Розрахунок теоретичної інтенсивності подавання води:

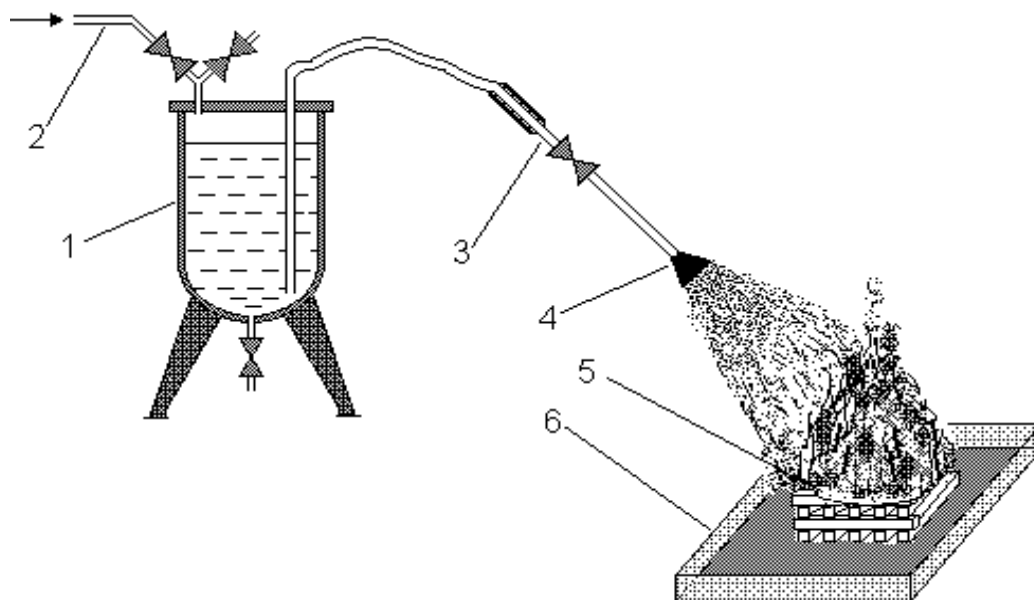
$I_{\text{теор}} = \eta \cdot v_m^0 \cdot \frac{g_{\text{охол}} \cdot K_{\Pi}}{60} = \dots\dots\dots$

$= \dots\dots\dots \text{л}/(\text{м}^2\text{с})$;

$$K_{\text{вик}} = \frac{I_{\text{теор}}}{I_{\text{н}}} = \dots\dots\dots$$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Схема лабораторної установки



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

Порядок проведення дослідження:

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

Таблиця результатів досліду

№	Вогнегасна речовина	S_{пож}, м²	τ, сек	V, л	g, л/с	G, л/м²	I факт., л/(м²с)	K вик.

Висновок:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ
картка №.....

This image shows a full page of handwriting practice paper. It features approximately 20 horizontal rows. Each row is defined by two parallel dotted lines, creating a series of uniform gaps for letter height. The entire page is otherwise blank, with no margins or additional markings.

РОБОТА № 11
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ ІЗО-
ЛЯЦІЄЮ

Мета роботи:

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

Речовина, що досліджується:.....

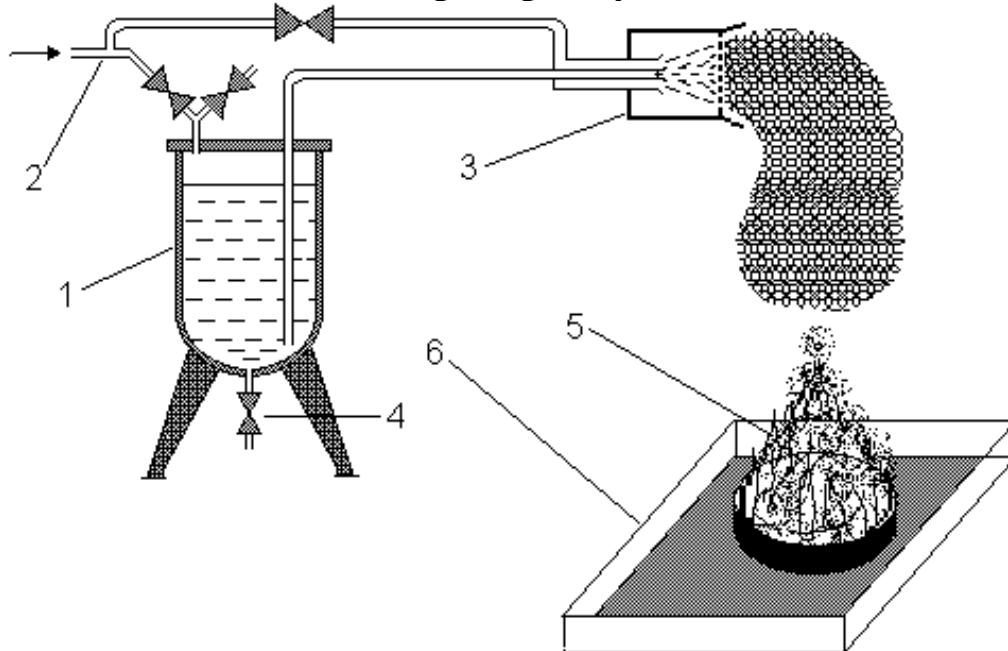
Вогнегасна речовина:

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.

;

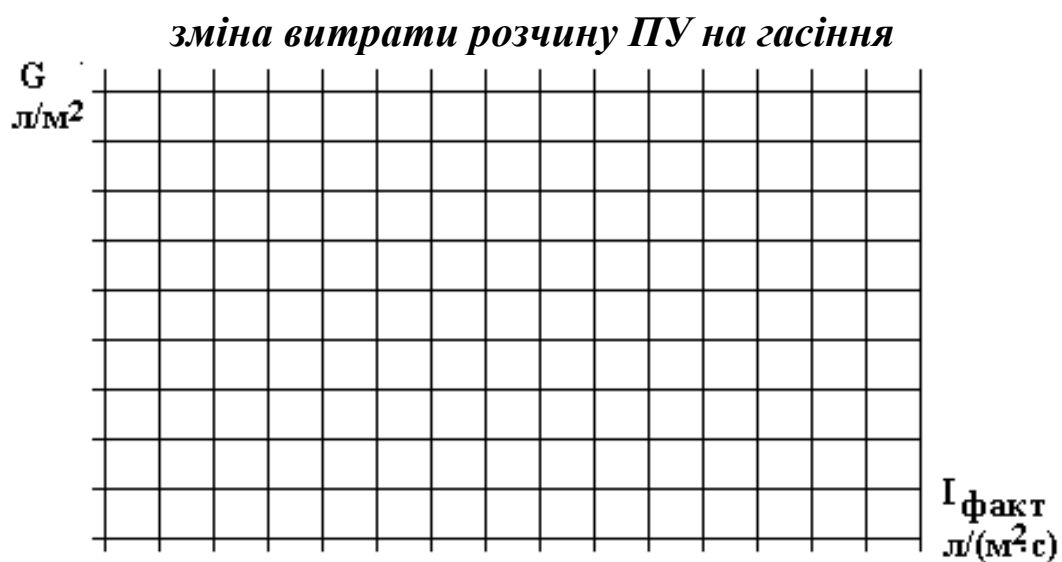
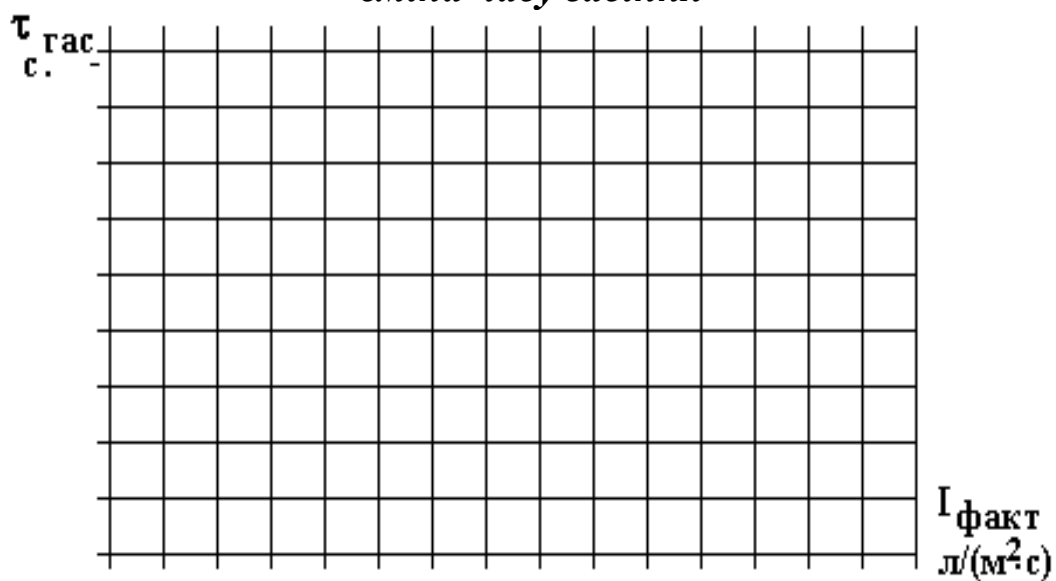
6.

Таблиця результатів досліду

№	Вогнегасна речовина	$S_{\text{пож}}, \text{м}^2$	$\tau, \text{с}$	$V, \text{л}$	$g, \text{л/с}$	$G, \text{л/м}^2$	$I_{\text{факт.}}, \text{л/(м}^2\text{с)}$	$K_{\text{вик.}}$

$K_{\text{пінн}} =$; $S_{\text{пінн}} =$

Обробка результатів досліду
 Залежність гасіння від інтенсивності подачі піни
зміна часу гасіння



Висновок:

.....

.....

.....

.....

.....

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ
картка №.....

Задача 1:.....

.....

.....

.....

.....

.....

Задача 2:.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Задача 3:.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

РОБОТА № 12
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

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

за табл.1 додатків: $h'_f = \dots\dots\dots$ $h'_\phi = \dots\dots\dots$ $h''_\phi = \dots\dots\dots$

j	m_j	h'_j	h''_j

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

....., %

2. Розрахувати мінімальну вибухобезпечну концентрацію кисню:

$$\varphi_{\text{мвбк}}^0 = (100 - \varphi_{\phi\lambda}^0) / 4,844 = \dots\dots\dots, \%$$

3. Розрахувати безпечну концентрацію кисню:

$$\varphi_{\text{без}}^0 = 1,2 \varphi_{\text{мвбк}}^0 - 4,2 = \dots\dots\dots, \%$$

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

$$V_{\text{нг}} = V_{\text{прим}} \cdot \ln \frac{100}{100 - \varphi_{\text{фл}}^0} = \dots\dots\dots \text{м}^3$$

5. Розрахувати витрату витікання негорючого газу залежно від діаметру трубопроводу та тиску в балоні.

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

Масову витрату витоку газу за умови $\frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} < 2$ розраховують за формулою:

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

за умови $\frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{атм}}} > 2$ - за формулою:

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

де k – коефіцієнт адіабати горючого газу (для одноатомних газів $k = 1,67$, двоатомних $k = 1,4$, три- та багатоатомних - $k = 1,3$);

$R_{\text{пит}}$ – питома газова стала, Дж·кг⁻¹·К⁻¹:

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

$$g_{\text{нг}} = \dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots, \text{ кг/с}.$$

6. Розрахувати густину негорючого газу за даних умов:

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

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

7. Розрахувати теоретичний час гасіння:

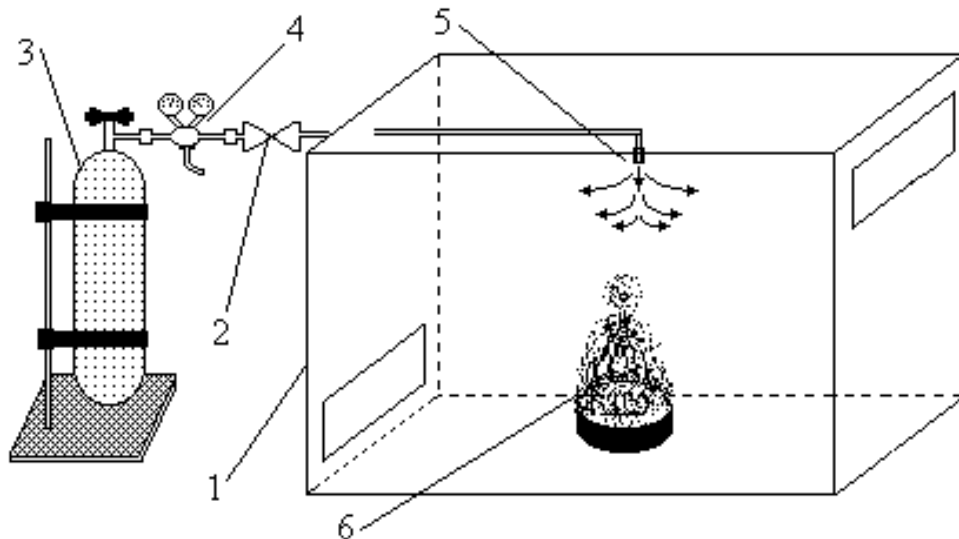
$$\tau_{\text{гас}} = \frac{V_{\text{нг}} \cdot \rho}{g_{\text{нг}}^{\text{м}}} = \dots\dots\dots, \text{с}$$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Порядок проведення дослідження:

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

Схема лабораторної установки



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

Обробка результатів дослідів

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

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

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 №.....

[illegible]

РОБОТА № 13
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ МЕ-
ТОДОМ ХІМІЧНОГО ГАЛЬМУВАННЯ РЕАКЦІЇ

Мета роботи:

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

Речовина, що досліджується

Вогнегасна речовина:

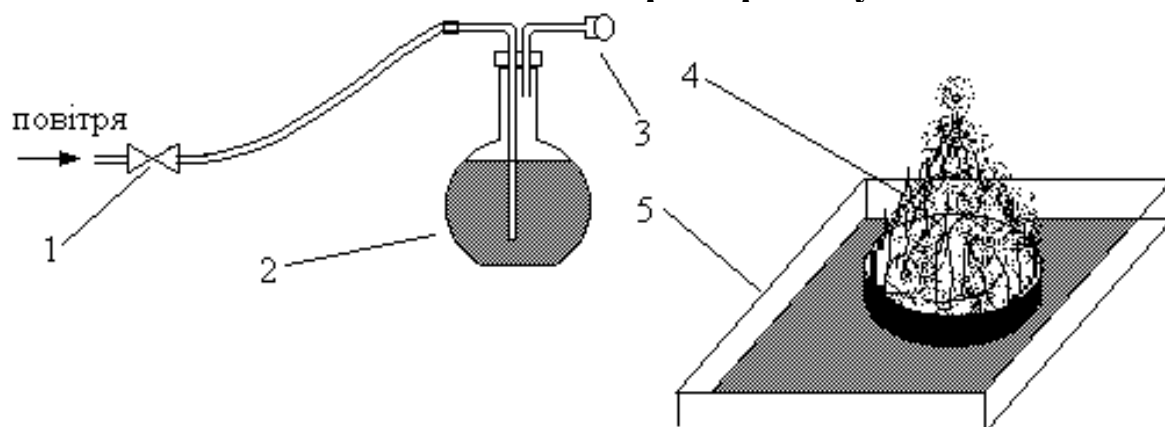
Умови проведення досліду:

- Температура:°C;

- Атмосферний тиск:кПа;

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Устрій приладу



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

Порядок проведення дослідження:

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

Таблиця результатів дослідів

№	Вогнегас- на речо- вина	$S_{\text{пож}}$, м ²	τ , сек	маса порош- ку, г	G , г/м ²	I факт., г/(м ² с)

Висновок:

.....

картка №.....

[illegible]

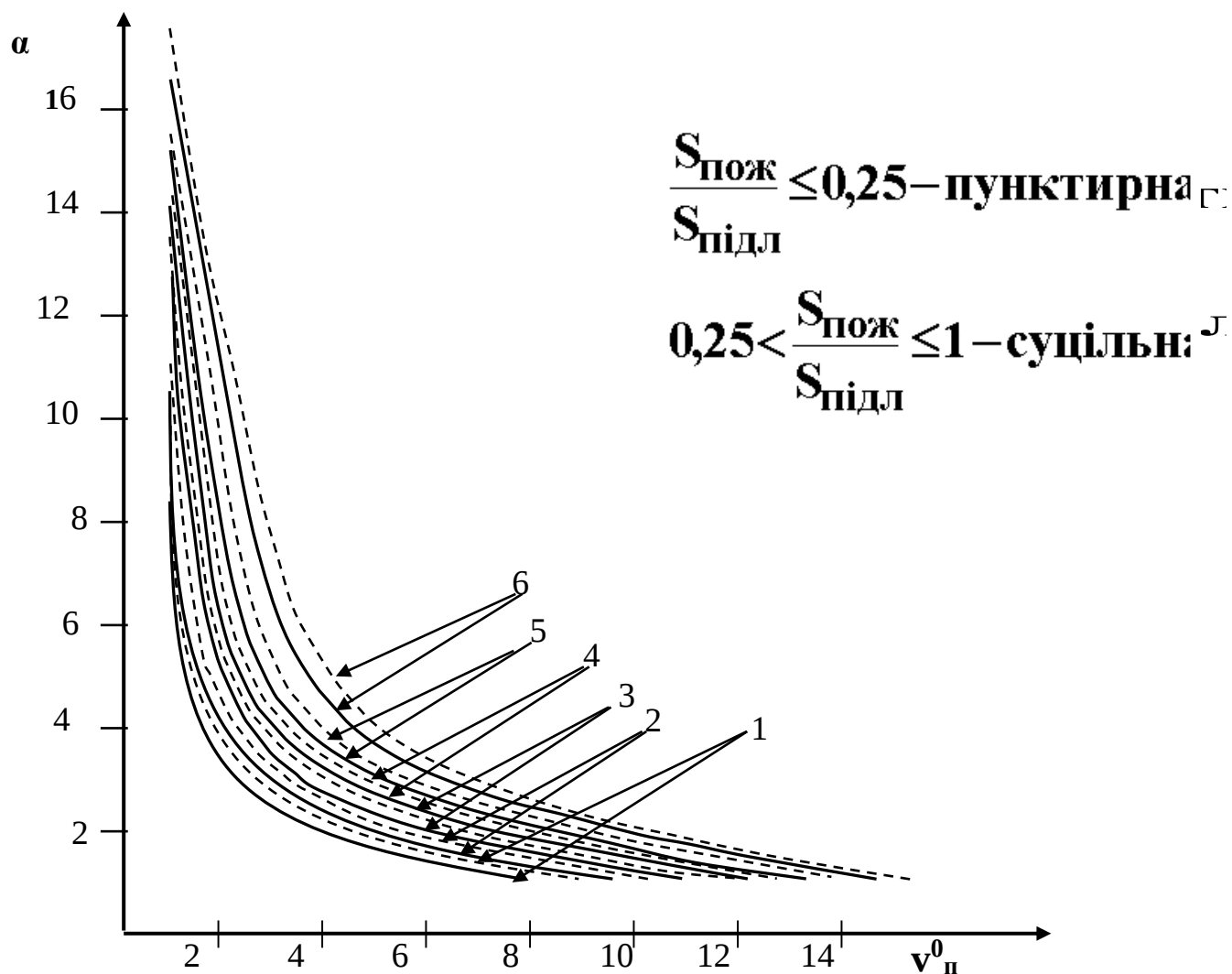
ДОДАТКИ

Додаток № 1 - Коефіцієнти формули визначення флегматизуючої концентрації негорючих газів

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

Коефіцієнти	Значення коефіцієнтів при розведенні суміші негорючими газами		
	N ₂	H ₂ O (пара)	CO ₂
h_f' моль·кДж ⁻¹	$0,865 \cdot 10^{-2}$	$0,802 \cdot 10^{-2}$	$0,736 \cdot 10^{-2}$
$h_{\text{ф}}'$	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
$h_{\text{ф}}''$	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

Додаток № 2 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 № 3 Номограма визначення температури пожежі в огороженні

