

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних і лабораторних занять,
організації самостійної та індивідуальної робіт
із навчальної дисципліни

«ОСНОВИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 263 – Цивільна безпека)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Методичні рекомендації до проведення практичних і лабораторних занять, організації самостійної та індивідуальної робіт із навчальної дисципліни «Основи пожежної безпеки» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 263 – Цивільна безпека) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. А. О. Михайлюк. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 99 с.

Укладач канд. техн. наук, ст. наук. співроб., доц. А. О. Михайлюк

Рецензент

Ю. П. Ключка, старший науковий співробітник, доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою охорони праці та безпеки життєдіяльності,
протокол № 18 від 22.01.2026*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Програма навчальної дисципліни.....	6
Методичні рекомендації щодо організації практичних занять.....	6
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	
ВИРОБНИЦТВ.....	6
Практичне заняття № 1	
Визначення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів.....	6
Практичне заняття № 2	
Визначення фізико-хімічних особливостей процесу горіння.....	11
Практичне заняття № 3	
Визначення умов утворення горючої суміші.....	17
Практичне заняття № 4	
Визначення умов самоспалахування та самозаймання горючих систем..	23
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТИПОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	
	28
Практичне заняття № 5	
Оцінка пожежовибухонебезпеки технологічного обладнання під час нормальної експлуатації.....	28
Практичне заняття № 6	
Визначення вимог до систем забезпечення пожежної безпеки теплових процесів робота з нормативними документами.....	34
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ГАЗОДИМОЗАХИСТ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ ТА ПРИМІЩЕНЬ.....	
	40
Практичне заняття № 7	
Визначення складу та небезпечних властивостей диму. Оцінка зон задимлення.....	40
Практичне заняття № 8	
Визначення вимог до систем димовидалення у виробничих приміщеннях та будівлях. Робота з нормативними документами.....	46
Методичні рекомендації щодо організації лабораторних робіт.....	51

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ДО ЗМІСТОВОГО МОДУЛЮ 1.....	51
Лабораторна робота № 1	
Визначення небезпечних чинників пожежі.....	51
Лабораторна робота № 2	
Дослідження процесів горіння.....	54
Лабораторна робота № 3	
Оцінка запалювальної здатності виробничих джерел тепла.....	58
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ДО ЗМІСТОВОГО МОДУЛЮ 2.....	63
Лабораторна робота № 4	
Дослідження пожежовибухонебезпеки технологічного обладнання під час аварій та пошкодження.....	63
Лабораторна робота № 5	
Визначення категорії приміщення компресорної за вибухопожежною та пожежною небезпекою.....	67
Лабораторна робота № 6	
Обґрунтування протипожежної перешкоди на лінії транспортування горючого газу.....	73
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ДО ЗМІСТОВОГО МОДУЛЮ 3.....	78
Лабораторна робота № 7	
Визначення критичного часу розвитку пожежі для перебування людей у приміщенні.....	78
Лабораторна робота № 8	
Визначення безпечних параметрів роботи в засобах індивідуального захисту органів дихання у задимленому середовищі.....	84
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91
ДОДАТОК А.....	93

ВСТУП

Основна мета практичних та лабораторних занять – набуття здобувачами вищої освіти практичних умінь і навичок в процесі застосування теоретичних знань на практиці.

Виконання практичних завдань у поєднанні з лабораторними роботами дозволяє не тільки закріпити у здобувачів вищої освіти теоретичні знання, але і вміти застосовувати знання на практиці, розвивати аналітичні навички, самостійність та вміння працювати з обладнанням, формувати навички роботи з даними, а також сприяти кращому розумінню матеріалу та підготовці до майбутньої професії.

Методичні рекомендації до проведення практичних і лабораторних занять, організації самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни «Основи пожежної безпеки» орієнтовані на здобувачів освіти, які вивчають процеси та види горіння, небезпеку виникнення та поширення пожежі, вплив небезпечних чинників пожежі, а також системи забезпечення пожежної безпеки об'єктів.

У методичних рекомендаціях значна увага приділяється закріпленню теоретичних знань, що дають можливість для оволодіння компетентностями, необхідними для створення і підтримання здорових та безпечних умов праці, життєдіяльності людини, забезпечення цивільного захисту, пожежної і техногенної безпеки, а також реагування на надзвичайні ситуації та ліквідацію їхніх наслідків.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

План

Змістовий модуль 1 Теоретичні основи забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів виробництв.

Змістовий модуль 2 Забезпечення пожежної безпеки типових технологічних процесів.

Змістовий модуль 3 Газодимозахист виробничих будівель та приміщень.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВ

Практичне заняття № 1

Визначення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів

Мета: закріплення теоретичних знань з основних питань лекції, отримання навичок роботи з нормативно-правовими актами у галузі пожежної безпеки.

План

1.1 Нормативно-правове забезпечення пожежної безпеки об'єктів. Поняття та визначення.

1.2 Системи забезпечення пожежної безпеки об'єктів.

1.1 Нормативно-правове забезпечення пожежної безпеки об'єктів.

Поняття та визначення

Нормативно-правові акти:

1. Кодекс цивільного захисту України, 2013, ред. від 19.04.2024.
2. ДСТУ 2272-2006. ССБТ. Пожежна безпека. Терміни та визначення.
3. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення.
4. Наказ МВС України № 1417 від 30.12.2014. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні.

Пожежа – неконтрольований процес горіння, внаслідок якого знищується або пошкоджується майно, природні ресурси, а також виникають небезпечні чинники, що створюють загрозу життю та здоров'ю людей, тварин, негативно впливають на навколишнє природне середовище (ст. 2 КЦЗУ).

Пожежна небезпека об'єкта – це сукупність чинників, які зумовлюють можливість виникнення і (або) розвитку пожежі на об'єкті (п. 4.5.3 ДСТУ2272-2006).

Пожежна безпека – стан захищеності життя та здоров'я людини, майна, навколишнього природного середовища від пожеж, що характеризується досягненням прийняттого рівня ризику виникнення пожежі (ст. 2 КЦЗУ).

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за якого ймовірність виникнення і розвитку пожежі та ймовірність впливу небезпечних чинників пожежі не перевищують унормованих допустимих значень (п. 4.5.2 ДСТУ 2272-2006).

Об'єкт захисту – це споруда, будівля, приміщення, технологічна установка, процес, транспортний засіб, виріб або їх сукупність, а також населений пункт, що потребують застосування засобів та способів для запобігання виникнення, розвитку та ліквідації пожежі. До складу об'єкта захисту входить і людина. (п. 3.1 ДСТУ 8828:2019).

Індивідуальний пожежний ризик – це кількісна характеристика можливості реалізації пожежної небезпеки, яка може призвести до загибелі людини в результаті впливу небезпечних чинників пожежі (п. 3.2. ДСТУ 8828:2019).

Рівень пожежної безпеки – це кількісна оцінка збитків, яких запобігли при імовірній пожежі (п. 3.3. ДСТУ 8828:2019).

Система забезпечення пожежної безпеки – це сукупність засобів та організаційних заходів, призначених для протипожежного захисту і запобігання пожежі (п. 4.7.3. ДСТУ 2272-2006).

1.2 Системи забезпечення пожежної безпеки об'єктів

Відповідно до ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення пожежна безпека об'єкта захисту забезпечується:

- системою запобігання пожежі;
- комплексом протипожежного захисту;
- системою управління пожежною безпекою об'єкта.

Пожежна безпека об'єкта характеризується рівнем пожежної безпеки людей (запобігання впливу на них небезпечних чинників пожежі) та/або матеріальних цінностей, а також економічним ефектом витрат на її забезпечення.

Основні задачі пожежної безпеки:

- мінімізувати ймовірність виникнення пожежі;
- забезпечити пожежну безпеку людей;
- забезпечити пожежну безпеку матеріальних цінностей;
- забезпечити пожежну безпеку людей і матеріальних цінностей одночасно.

Прийнятний рівень пожежної безпеки людей на об'єктах повинен бути не менше ніж 0,999 99 на рік у розрахунку на кожну людину, а прийнятний

рівень індивідуального пожежного ризику повинен бути не більше ніж 10^{-5} на рік з розрахунку на кожну людину.

Вимоги до системи запобігання пожежі:

- запобігання утворення горючого середовища;
- запобігання виникнення в горючому середовищі джерел запалювання.

Заходи із запобігання утворенню горючого середовища:

- підтримання безпечної концентрації горючого середовища;
- достатня концентрація флегматизатора;
- підтримання параметрів горючого середовища (температура, тиск, вологість тощо);
- ізоляція горючого середовища від загального об'єму приміщення;
- розміщення пожежонебезпечного устаткування в окремих приміщеннях або на відкритих майданчиках;
- максимальна механізація і автоматизація технологічних процесів;
- застосування пристроїв захисту технологічного обладнання з горючими речовинами від пошкоджень та аварій.

Заходи із запобігання утворенню в горючому середовищі джерел запалювання:

- застосування машин, механізмів, устаткування, пристроїв, за експлуатації яких не утворюються джерела запалювання;
- застосування в пожежонебезпечних та вибухонебезпечних зонах електрообладнання з відповідним рівнем захисту;
- застосування в конструкції устаткування швидких засобів захисного вимкнення можливих джерел запалювання;
- застосування іскробезпечного інструменту;
- улаштування блискавкозахисту будівель, споруд і обладнання;
- підтримання температури поверхні машин, механізмів, устаткування, пристроїв, речовин і матеріалів, що контактують з горючим середовищем,

нижче гранично допустимої, що становить 80 % від найменшої температури самозаймання горючої речовини;

- виключення можливості появи іскрового розряду в горючому середовищі;
- недопущення виникнення умов для теплового, хімічного та (або) мікробіологічного самозаймання речовин і матеріалів;
- усунення контакту з повітрям пірофорних речовин.

Практичне завдання

Робота з нормативними документами.

Визначити заходи пожежної безпеки згідно з вимогами Правил пожежної безпеки в Україні [5] до системи запобігання виникнення пожежі, яка може статися на складі деревини.

Класифікувати заходи за напрямками: запобігання утворенню горючого середовища; запобігання утворенню в горючому середовищі джерел запалювання. Результати аналізу занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Заходи пожежної безпеки щодо системи запобігання пожежі на складі деревини

Запобігання утворенню горючого середовища	Запобігання утворенню в горючому середовищі джерел запалювання	Посилання на нормативний документ

Питання для самостійної роботи

1. Дати визначення понять «пожежа», «пожежна безпека», «система забезпечення пожежної безпеки», «індивідуальний пожежний ризик».
2. Якими нормативним документами регламентуються вимоги до забезпечення пожежної безпеки об'єктів?
3. Назвати системи забезпечення пожежної безпеки об'єктів.
4. Сформулювати основні задачі пожежної безпеки.
5. Основні вимоги до системи запобігання пожежі.
6. Сформулювати основні заходи із запобігання утворенню горючого середовища.
7. Сформулювати основні заходи із запобігання утворенню в горючому середовищі джерел запалювання.

Практичне заняття № 2

Визначення фізико-хімічних особливостей процесу горіння

Мета: повторити основні положення процесів горіння. Практично закріпити рівень знань щодо визначення фізико-хімічних особливостей процесу горіння.

План

- 2.1 Суть процесів горіння.
- 2.2 Класифікація процесів горіння.
- 2.3 Полум'я. Процеси, що відбуваються у полум'ї.

2.1 Суть процесів горіння

Основою всіх процесів, що відбуваються під час пожежі, є процес горіння – горіння речовин і матеріалів.

Процес горіння складається з багатьох пов'язаних між собою окремих процесів, як фізичних, так і хімічних.

Фізика процесу горіння характеризується процесами тепло-масообміну і перенесення в реагуючій системі.

Хімія горіння полягає у протіканні окислювально-відновних реакцій (відбувається перехід електронів від одних речовин до інших – від відновника до окисника).

Із курсу загальної хімії відомо, що реакції, які протікають зі зміною ступеня окиснення атомів, називають окислювально-відновними (наприклад, взаємодія водню та кисню з отриманням води).

Під час пожежі практично завжди окисником є кисень повітря, але підтримувати горіння можуть й інші речовини, у складі яких є елементи з високим ступенем окиснення.

Процеси горіння й окиснення є близькими, але відрізняються.

Окисні процеси завжди протікають із виділенням теплоти, але не всі ці реакції супроводжуються горінням. Окиснення горючих речовин протікає за нормальних умов постійно, але з дуже малою швидкістю (так, наприклад, реакція окиснення водню киснем повітря за кімнатної температури триватиме близько 1,6 мільйонів років). За підвищеної температури до 400 °C окиснення закінчиться через 80 діб, а за наявності джерела запалювання з температурою понад 600 °C – відбудеться майже миттєво.

Отже, горіння – відносно швидкий процес, тому до горіння належать не всі окислювально-відновні реакції. Наприклад, окиснення етилового спирту в оцтовий альдегід протікає з виділенням енергії, але швидкість реакції і тепловиділення є недостатніми для нагрівання продуктів реакції до їхнього світіння.

Тривалість реакцій горіння вимірюється секундами. Процес супроводжується виділенням теплоти і є екзотермічним. До горіння

призводять не всі швидкі реакції, а ті, що є екзотермічними. Самостійно підтримується процес горіння за рахунок виділення теплоти.

Енергія, що виділяється, не встигає поступово розсіятися в навколишньому середовищі, й тому її виділення спостерігається у вигляді тепла і світла.

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

Під час більшості пожеж основою горіння є реакції взаємодії горючих речовин із повітрям, тобто реакції, за яких горючі речовини й матеріали під впливом високих температур вступають у хімічну взаємодію з киснем повітря, перетворюючись у продукти горіння.

Характерні ознаки процесу горіння:

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

Умови виникнення та протікання горіння:

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

2.2 Класифікація процесів горіння

У зв'язку з тим, що речовини, які беруть участь у горінні, можуть бути в газоподібному, рідкому і твердому станах, можуть бути їхніми сумішами, надходять до зони горіння з різною швидкістю, то і процеси горіння будуть різноманітними.

Ознаки класифікації процесів горіння:

1. За агрегатним станом компонентів горючої суміші в зоні горіння (горюча речовина і окисник (кисень повітря – газ)):

- гомогенне горіння (один агрегатний стан, наприклад, газ метан і кисень повітря);
- гетерогенне горіння (різний агрегатний стан, наприклад, антрацит (тверда речовина) і кисень повітря).

Горіння рідин характеризується, як гомогенне, бо у горінні бере участь пароповітряна суміш, тобто з підвищенням температури рідина випаровується і перетворюється на газ.

2. За механізмом поширення горіння. Залежно від механізму поширення зони реакції по горючій суміші розрізняють два характерні режими горіння: *дефлаграційний* (передача імпульсу горіння відбувається теплопровідністю) та *детонаційний* (поширення горіння відбувається за рахунок швидкого адіабатичного стиснення);

3. За газодинамічним режимом надходження компонентів горючої суміші в зону реакції: *ламінальний* (компоненти горючої суміші надходять до зони реакції повільно); *турбулентний* (компоненти горючої суміші надходять до зони реакції інтенсивно).

2.3 Полум'я. Процеси, що відбуваються у полум'ї

Горіння газів або парів рідин є гомогенним, і дефлаграційний режим гомогенного горіння характеризується наявністю полум'я.

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

Залежно від газодинамічного режиму надходження компонентів горючої суміші до зони горіння полум'я може бути ламінарним або турбулентним.

Ламінарне полум'я – це тип горіння, за якого горюча суміш (газ / повітря) надходить до зони реакції повільно, рівномірними, паралельними шарами, без турбулентності, створюючи стабільне, гладке полум'я з чітко визначеними зонами, як у газовій лампі чи газовому пальнику за низької подачі газу. Воно відрізняється від турбулентного полум'я, де потік хаотичний.

У структурі ламінарного полум'я можна виділити декілька зон:

- 1 – підготовча зона – це зона горючих пари та газів, зона суміші горючої речовини з продуктами горіння;
- 2 – зона горіння;
- 3 – зона суміші продуктів горіння з повітрям;
- 4 – зона холодного повітря.

Температура в різних зонах полум'я та в самій зоні горіння не є однаковою.

Турбулентне полум'я – це форма полум'я, що виникає в разі неупорядкованого, хаотичного руху газів, де швидкість та інші параметри потоку постійно змінюються, створюючи вихори та змішування, що відрізняється від плавного ламінарного потоку (часто зустрічається в реактивних двигунах та промислових пальниках).

Дифузійне полум'я – це тип горіння, за якого паливо та окисник (зазвичай кисень із повітря) змішуються лише безпосередньо в зоні реакції, а не попередньо змішуються перед загорянням. Такий процес часто супроводжується появою жовтого полум'я через утворення частинок сажі внаслідок неповного згоряння. Зазвичай дифузійне полум'я з'являється, коли вміст кисню недостатній для повного згоряння, що призводить до утворення частинок вуглецю (сажі). Ці частинки нагріваються до високої температури і випромінюють світло, надаючи полум'ю яскраво-жовтий колір.

Практичне завдання

Дослідити процеси горіння та сформулювати характерні ознаки процесу горіння.

Враховуючи газодинамічний режим надходження компонентів горючої суміші в зону реакції, визначити характер полум'я та вид процесу горіння (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Визначення характеру полум'я та виду процесу горіння

Приклади горіння	Характер полум'я	Вид процесу горіння
Двигун внутрішнього згоряння		
Газовий пальник		
Свічка		
Двигун турбіни		
Багаття		
Газова плита		

Питання для самостійної роботи

1. У чому полягає фізика процесів горіння?
2. У чому полягає хімія процесів горіння?
3. Чим відрізняється процес горіння від окиснення?
4. Що таке горіння?
5. Назвати основні ознаки класифікації процесів горіння.
6. Що таке гомогенне та гетерогенне горіння?
7. Який режим горіння називають ламінарним?
8. Який режим горіння називають турбулентним?

Практичне заняття № 3

Визначення умов утворення горючої суміші

Мета: отримання практичних навичок та вмінь щодо розрахункового визначення можливості утворення горючого середовища у технологічному обладнанні з наявністю горючих речовин.

План

3.1 Концентраційні межі поширення полум'я.

3.2 Фактори, що впливають на концентраційні межі поширення полум'я.

3.3 Розрахункове визначення безпечних концентраційних меж поширення полум'я.

3.1 Концентраційні межі поширення полум'я

У технологічних процесах, пов'язаних з отриманням, переробкою, зберіганням і транспортуванням горючих речовин, можуть утворюватися будь-які суміші горючих газів або парів із повітрям.

Принцип, який є основою радикального розв'язання задачі забезпечення вибухобезпеки технологічного процесу, є виключення можливості утворення горючих систем за рахунок регулювання складу газо-, паро- або пилоповітряної суміші. Концентрація горючого компонента в сумішах з окисником може бути в межах від частки відсотка до 100 %. Але не всі з цих концентрацій є небезпечними щодо виникнення горіння і вибуху.

Горюча речовина й окисник у певному співвідношенні утворюють *горюче середовище* – середовище, здатне самотійно горіти після усунення джерела запалювання.

Виникнення і поширення горіння в сумішах горючої речовини й окисника можливе тільки в обмеженому діапазоні їхніх концентрацій. Якщо газова суміш містить великий надлишок одного з компонентів або значну кількість негорючої домішки, то температура, що розвивається у прилеглих до

джерела запалювання шарах, є недостатньою для виникнення і поширення горіння через значні втрати тепла на нагрівання речовин, які не беруть участі в хімічній реакції окиснення.

Отже, для кожної суміші існують певні концентраційні межі виникнення горіння.

Для паро- і газоповітряних сумішей можна визначити як мінімальну, так і максимальну концентрацію горючої речовини, за якої настають критичні умови виникнення та поширення полум'я.

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

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

Таким чином, для сумішей, які містять горючу речовину й окисник, розрізняють нижню і верхню концентраційні межі поширення полум'я (КМПП).

Горіння на нижній концентраційній межі поширення полум'я характеризується такими критичними параметрами: температура горіння – 1 300–1 500 К, теплота згоряння – 1 790–1 880 кДж/м³, швидкість поширення горіння – 0,1–0,5 м/с.

Концентраційні межі поширення полум'я – найважливіший параметр, який характеризує вибухонебезпеку горючих речовин у будь-якому агрегатному стані. Область концентрацій горючої речовини, яка знаходиться між нижньою і верхньою концентраційними межами, характеризується можливістю виникнення горіння горючої суміші в кінетичному (вибуховому) режимі і називається *областю вибухонебезпечних концентрацій*

$$\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v, \quad (3.1)$$

де φ_p – робоча концентрація горючої речовини в апараті, об. ч. ($\text{кг}/\text{м}^3$ або % об.);

φ_n , φ_v – відповідно нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я газопароповітряних сумішей за робочої температури, об. ч. ($\text{кг}/\text{м}^3$ або % об.).

Значення φ_n та φ_v (за температури $25\text{ }^\circ\text{C}$ та атмосферного тиску) наведені у таблицях А.1, А.2 додатка А.

За межами означеної області суміші горючої речовини з окисником стають вибухобезпечними через нестачу одного з компонентів. Горіння не можливе, якщо концентрація горючої речовини менше за нижню концентраційну межу. Якщо концентрація горючої речовини вище за верхню концентраційну межу, можливе виникнення дифузійного горіння за умови виходу струменя газу в навколишній простір, змішування його з киснем повітря, і за наявності джерела запалювання.

Такі концентрації горючої речовини називають *вибухобезпечними*, але *пожежонебезпечними*.

3.2 Фактори, що впливають на концентраційні межі поширення полум'я

До основних факторів, що впливають на зміну концентраційних меж поширення полум'я належать:

- вид горючої речовини;
- склад горючої суміші: домішки негорючих газів; концентрація кисню в окислювальному середовищі; домішки каталізаторів чи інгібіторів;
- умови, в яких знаходиться горюча суміш: температура і тиск суміші; міра турбулізації газового потоку (швидкість руху газів); потужність впливу джерела запалювання.

Нижче наведено вплив цих факторів на концентраційні межі поширення полум'я.

Вид горючої речовини. Наприклад, зі збільшенням молярної маси вуглеводнів спостерігається звуження області займання, переважно за рахунок зменшення верхньої КМПП.

Процес попередження виникнення горіння в обмеженому об'ємі шляхом перетворення горючого газового середовища у негорючу систему за рахунок його розведення негорючим газом називають *флегматизацією*.

Мінімальна флегматизуюча концентрація – це найменша концентрація негорючого газу в суміші з горючої речовиною й окисником, за якої суміш стає не здатною до поширення полум'я за будь-якого співвідношення горючої речовини й окисника.

Флегматизатори можуть бути:

- хімічно активні, що вступають у хімічну реакцію з компонентами горючої суміші (наприклад, газоподібні хладони);
- теплові, які не беруть прямої участі у хімічній взаємодії компонентами горючої суміші, але знижують температуру горіння за рахунок власного нагрівання (прості інертні розріджувачі, складні ендотермічні сполуки).

Концентрація кисню в окислювальному середовищі. На розширення зони вибухонебезпечних концентрацій впливає концентрація кисню в окисному середовищі. Так, зі збільшенням концентрації кисню в окисному середовищі від 21 % у повітрі до 100 % відбувається збільшення швидкості хімічної реакції, а отже, зростає інтенсивність тепловиділення і температура горіння.

Початкова температура горючої суміші. Також зі збільшенням початкової температури вихідної горючої суміші область вибухонебезпечних концентрацій розширюється: дещо зменшується нижня концентраційна межа і більш помітно збільшується верхня, оскільки при цьому відбувається зростання швидкості хімічної реакції. Зміна температури найбільше впливає на верхню концентраційну межу за зниженого тиску. Підвищення температури на

100 К знижує нижню концентраційну межу поширення полум'я зазвичай на 8–10 %, та підвищує верхню межу на 12–16 %.

Тиск у системі. Залежність концентраційних меж поширення полум'я від тиску для різних видів горючих речовин є різною. Але для більшості вуглеводнів підвищення тиску призводить до розширення вибухонебезпечної області за рахунок збільшення верхньої межі. Наприклад, нижня концентраційна межа поширення полум'я суміші метану з повітрям не залежить від тиску, а верхня – збільшується.

Потужність джерела запалювання. Зі збільшенням потужності джерела запалювання, наприклад електричної іскри, діапазон концентрацій горючої речовини, в якому можливе запалювання, розширюється. Це пояснюється збільшенням об'єму горючої системи, який нагрівається джерелом запалювання до температури горіння, а отже, і зростанням інтенсивності тепловиділення і зменшенням питомої поверхні тепловіддачі. Таким чином, більш потужне джерело запалювання може спричиняти займання більш бідної та більш багатой горючої суміші.

У разі зменшення потужності джерела запалювання відбувається звуження концентраційних меж і за деякої мінімальної потужності джерела запалювання, що є характерною для кожної горючої речовини, відбувається змикання нижньої й верхньої концентраційних меж поширення полум'я. Таку потужність називають мінімальною енергією запалювання.

3.3 Розрахункове визначення безпечних концентраційних меж поширення полум'я

Враховуючи, що концентраційні межі поширення полум'я можуть змінюватися за зміни зовнішніх умов, для забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів, в яких обертаються горючі газо- або пароповітряні

суміші, визначають не тільки самі концентраційні межі, але і безпечні концентрації, нижче або вище яких суміш гарантовано не буде запалюватися.

Безпечні концентраційні межі поширення полум'я можна розрахувати за такими формулами:

$$\phi_{p.без.} \leq 0,9(\phi_n - 0,0021), \quad (3.2)$$

$$\phi_{p.без.} \geq 1,1(\phi_v + 0,0042), \quad (3.3)$$

де $\phi_{p.без.}$ – вибухобезпечна концентрація горючої речовини у газоповітряній суміші, об. част.;

ϕ_n , ϕ_v – нижня та верхня концентраційна межа поширення полум'я відповідно.

Практичне завдання

Визначити концентраційні межі поширення полум'я для горючих речовин та оцінити можливість утворення горючого середовища у технологічному обладнанні за їхньої наявності. Встановити найбільш вибухонебезпечний технологічний апарат. Навести пояснення. Результати дослідження подати у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Визначення можливості утворення горючого середовища

Горюча речовина	Фактична концентрація, %	НКМПП, % [1,2]	ВКМПП, % [1,2]	Висновок (утворюється / не утворюється)
Водень	8			
Пропан	2			
Метан	3			
Ацетон	5			
Бензол	4			
Етиловий спирт	18			

Питання для самостійної роботи

1. Яке середовище вважають горючим?
2. Дати визначення поняття «нижня концентраційна межа поширення полум'я».
3. Дати визначення поняття «верхня концентраційна межа поширення полум'я».
4. Яку область концентрацій горючої речовини вважають областю вибухонебезпечних концентрацій?
5. Яким чином вид горючої речовини впливає на концентраційні межі поширення полум'я?
6. Що таке флегматизація?
7. Яким чином впливає концентрація кисню в окисному середовищі на концентраційні межі поширення полум'я?
8. Яким чином впливає температура і тиск на концентраційні межі поширення полум'я?
9. Навести умову пожежовибухобезпеки.

Практичне заняття № 4

Визначення умов самоспалахування та самозаймання горючих систем

Мета: закріпити теоретичні знання з основних питань лекції щодо основних положень самоспалахування та самозаймання горючих систем. Отримати практичні навички до визначення безпечних умов експлуатації технологічного обладнання.

План

- 4.1 Самоспалахування горючих систем.
- 4.2 Самозаймання горючих систем.
- 4.3 Вимушене запалювання горючих систем.

4.1 Самоспалахування горючих систем

Самоспалахування – процес виникнення горіння внаслідок різкого збільшення швидкості хімічної реакції окиснення під впливом нагрівання всієї горючої системи до критичної температури без дії джерела запалювання.

Температура самоспалахування (T_{cc}) – найменша температура системи, за якої відбувається різке збільшення швидкості екзотермічної реакції, що призводить до появи полум'яного горіння без дії джерела запалювання.

Період індукції або час індукції (τ_{ind}) – проміжок часу, протягом якого в реагуючій суміші досягається початкове розігрівання і система нагрівається до температури самоспалахування.

Параметром, що характеризує процес самоспалахування, є *температура самоспалахування* – найменша температура горючої системи, за якої відбувається різке збільшення швидкості хімічної реакції окиснення, що завершується виникненням горіння без дії джерела запалювання.

Температура самоспалахування відповідає таким граничним умовам у горючій системі, за яких відбувається порушення теплової рівноваги між швидкістю тепловиділення реакції окиснення та швидкістю тепловіддачі від системи через стінку посудини до навколишнього середовища, внаслідок чого створюються умови, що призводять до стрибкоподібного підйому температури за рахунок самонагрівання горючої суміші.

Фактори, що впливають на температуру самоспалахування:

- вид горючої речовини;
- склад горючої суміші (концентрація горючої речовини, концентрація кисню в окисному середовищі, концентрація негорючих компонентів у суміші, наявність каталізаторів або інгібіторів);
- умови, в яких знаходиться горюча суміш (об'єм і форма посудини, початкові температура і тиск у системі).

Значення температури самоспалахування визначають експериментальним та розрахунковим методами за стандартними методиками [3]. За температурою самоспалахування проводять порівняння пожежонебезпеки речовин (цей показник є обов'язковим для горючих речовин в усіх агрегатних станах). Чим нижче температура самоспалахування речовини, тим легше виникне горіння, а отже, тим вище його пожежна небезпека.

Безпечну (максимально припустиму) температуру нагрівання робочих, не теплоізованих поверхонь технологічного, електричного та іншого устаткування можна визначити за такою формулою:

$$t_{без.} \leq 0,8t_{ссп.}, \quad (4.1)$$

де $t_{без.}$, $t_{ссп.}$ – безпечна температура нагрівання та температура самоспалахування горючих речовин відповідно, °С.

Мінімальну температуру самоспалахування речовин враховують під час розслідування причин пожежі, якщо необхідно визначити можливість виникнення горіння внаслідок самоспалахування матеріалу під час контакту з нагрітою поверхнею.

4.2 Самозаймання горючих систем

Самозаймання – процес виникнення горіння внаслідок різкого збільшення швидкості хімічної реакції окиснення в горючій системі під впливом внутрішніх екзотермічних процесів. Прикладами самозаймання можуть бути пожежі на елеваторах, вугільних складах, комбикормових заводах під час транспортування деяких хімічних речовин тощо.

Умови самозаймання:

– наявність горючого середовища;

– процес самонагрівання, який виникає внаслідок протікання в системі екзотермічних процесів і призводить до розігрівання горючої системи до критичної температури;

– досягнення критичного значення температури відбувається за певний час – період індукції.

До самозаймання схильні лише речовини, які мають низьку температуру самонагрівання. Для речовин, які мають високу температуру самонагрівання, без додаткового тепла, що підводиться ззовні, виникнення горіння неможливе.

Види самозаймання:

– хімічне (внаслідок взаємодії речовин, які реагують із виділенням тепла);

– фізичне (самонагрівання матеріалу внаслідок тепловиділення фізичних процесів);

– мікробіологічне (внаслідок саморозігрівання продуктів рослинного походження);

– теплове самозаймання (внаслідок самонагрівання через тривалий вплив нагрівання речовини вище за температуру самонагрівання).

Температура тління – критична температура твердого матеріалу, за якої різко збільшується швидкість процесу окиснення, що призводить до виникнення осередку гетерогенного горіння.

4.3 Вимушене запалювання горючих систем

Вимушене запалювання – процес виникнення горіння внаслідок дії джерела запалювання на малу частку холодної горючої суміші.

Джерело запалювання – це таке нагріте тіло або такий екзотермічний процес, що здатні нагріти деякий об'єм горючої суміші до певної температури,

коли швидкість тепловиділення дорівнює або перевищує швидкість тепловідведення.

Згідно з [4] джерело запалювання – це об'єкт, який виділяє теплову енергію, достатню для запалювання.

Джерела запалювання класифікують за причинами та місцями виникнення, за природою, за параметрами (запасом теплової енергії, тривалістю дії) тощо. За своєю природою джерела запалювання умовно поділяють на:

- теплові прояви хімічної енергії (екзотермічні реакції);
- теплові прояви механічної енергії (тепло та іскри під час ударів і тертя тощо);
- теплові прояви електричної енергії (розряди статичної, атмосферної електрики тощо).

За запасом теплової енергії джерела запалювання поділяють на низькокалорійні та висококалорійні. За тривалістю дії – на постійно діючі та потенційно можливі.

Практичне завдання

На хімічному виробництві допускається експлуатація високонагрітого технологічного обладнання без теплоізоляції з наявністю горючих речовин: метану, бутану, бензолу.

Визначити безпечну (максимально припустиму) температуру нагрівання робочих, не теплоізованих поверхонь технологічного обладнання для горючого середовища з наявністю зазначених горючих речовин.

Питання для самостійної роботи

1. Дати визначення поняття «процес самоспалахування».
2. Яку температуру називають температурою самоспалахування?
3. Фактори, що впливають на температуру самоспалахування.

4. Умова визначення безпечної температури нагрівання робочих, не теплоізованих поверхонь технологічного обладнання.
5. Що таке процес самозаймання горючих матеріалів?
6. Види самозаймання.
7. Сформулювати умови самозаймання речовин і матеріалів.
8. Які фактори впливають на схильність матеріалу до самозаймання?
9. Дати визначення поняття «вимушене запалювання», «джерело запалювання».
10. Класифікація виробничих джерел запалювання.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТИПОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Практичне заняття № 5

Оцінка пожежовибухонебезпеки технологічного обладнання під час нормальної експлуатації

Мета: отримання практичних навичок та вмінь щодо розрахункового визначення небезпеки технологічного обладнання з наявністю горючих речовин та розробки заходів безпеки.

План

- 5.1 Апарати з горючими газами.
- 5.2 Апарати з легкозаймистими та горючими рідинами.
- 5.3 Апарати з твердими горючими речовинами.

5.1 Апарати з горючими газами

До технологічного обладнання (апаратів) із горючими газами (ГГ) належать: резервуари, балони, компресори, трубопроводи, газгольдери тощо. Апарати повністю заповнені горючим газом, герметичні, під тиском.

Усередині технологічного обладнання з горючими газами або перегрітими парами вибухонебезпечна концентрація утворюється, якщо до нього потрапляє повітря або інший окисник (за умови ведення технологічного процесу) і виконується співвідношення (3.1).

Робочу концентрацію горючого газу у суміші з окисником можна визначити з матеріального балансу апарата за такою формулою:

$$\varphi_p = \frac{V_r}{V_r + V_{ок}} \quad (5.1)$$

або

$$\phi_p = \frac{G_z}{G_z + G_{ок}}, \quad (5.2)$$

де $V_r, V_{ок}$ – об'єми відповідно горючого газу та окисника в апараті, м^3 ;

$G_z, G_{ок}$ – об'ємні витрати ГГ та окисника, $\text{м}^3/\text{хв}$.

Вибухобезпечні умови експлуатації апаратів із горючими газами, рідинами та перегрітими парами визначають із виразів (3.2) та (3.3).

Запобігання утворенню горючого середовища в апаратах з ГГ (заходи безпеки):

- підтримання концентрації ГГ у суміші з окисником за КМПП з урахуванням коефіцієнтів безпеки;
- підтримання в газових комунікаціях надлишкового тиску для запобігання підсмоктування зовнішнього повітря через нещільності;
- безперервний автоматичний контроль вмісту небезпечної домішки в газі (наприклад, окисника), за допомогою газоаналізаторів;
- стабілізація зони горіння горючої суміші в захищеному просторі апарата (наприклад, шляхом зміни швидкості руху горючої суміші);

– зміна стану горючої суміші у разі аварійних ситуацій (наприклад, за допомогою інертного розріджувача).

5.2 Апарати з легкозаймистими та горючими рідинами

У виробничих умовах обробляються або беруть участь у технологічному процесі різноманітні легкозаймисті (ЛЗР) та горючі (ГР) рідини.

Рідини мають властивості текучості, не мають певної визначеної форми, тому на виробництві вони знаходяться у замкнених об'ємах – резервуарах, апаратах, трубопроводах тощо. Апарати з легкозаймистими та горючими рідинами повністю не заповнюються. В апараті з рідиною над її дзеркалом є вільний простір, куди випаровується рідина і через нещільності може підсмоктуватися повітря (окисник). Пари рідини з повітрям змішуються, утворюється пароповітряна суміш, яка може стати вибухопожежонебезпечною, якщо виконується співвідношення (3.1).

В апаратах із горючими рідинами тривалого зберігання та нагрітими рідинами концентрація парів наближається до насиченої, тобто $\phi_p = \phi_s$, де ϕ_s – концентрація насичених парів за робочої температури, яка визначається за такою формулою:

$$\phi_s = \frac{P_s}{P_p}, \quad (5.3)$$

де P_s – тиск насичених парів рідини за робочої температури, кПа.

Величину P_s також можна розрахувати за рівнянням Антуана:

$$P_s = 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_a}\right)}, \quad (5.4)$$

де A , B та C_a – константи, які залежать від властивостей рідини, наведені у таблиці А.2 додатка А;

P_p – робочий тиск пароповітряної суміші в апараті (абсолютний тиск у герметичному апараті або барометричний тиск $P_{\text{бар}}$ у апараті), кПа.

Для перерахунку концентраційних меж поширення полум'я з об'ємних часток у кілограми в кубічному метрі використовують таку формулу:

$$\phi^* = \frac{\phi^0 \cdot M}{V_t}, \quad (5.5)$$

де ϕ^* , ϕ^0 – значення концентраційних меж поширення полум'я відповідно в масових (кг/м³) та об'ємних частках;

M – молекулярна маса речовини, кг/кмоль;

V_t – молярний об'єм парів або газів за робочих умов, м³/кмоль.

Для визначення V_t застосовують таке рівняння:

$$V_t = V_0 \cdot \frac{T_p}{T_0} \cdot \frac{P_0}{P_p}, \quad (5.6)$$

де $V_0 = 22,41$ м³/кмоль – молярний об'єм парів або газів за нормальних умов;

$T_0 = 273,15$ К – температура за нормальних фізичних умов;

$P_0 = 101,325$ кПа – тиск за нормальних фізичних умов ($P_0 = 101$ кПа);

T_p та P_p – відповідно робоча температура (К) та робочий тиск системи, кПа.

Запобігання утворенню горючого середовища в апаратах з горючими рідинами (заходи безпеки):

- ліквідація газового простору;
- підтримання безпечного температурного режиму;
- підтримання концентрації парів горючої рідини за заданої температури нижче НКМПП;
- додавання негорючих (інертних) газів у пароповітряний простір апарата (флегматизація);
- зменшення швидкості зміни рівня рідини шляхом збільшення числа апаратів, що одночасно спорожнюються;
- улаштування газової обв'язки системи трубопроводів для виключення або скорочення надходження атмосферного повітря в апарати під час їхнього спорожнення.

5.3 Апарати з твердими горючими речовинами

У багатьох технологічних процесах, що здійснюються в різних галузях промисловості, беруть участь тверді речовини та матеріали, що знаходяться в дисперсному стані (пил, порошки, волокна). Усередині апаратів і в повітрі виробничих приміщень дисперсні матеріали утворюють аерозолі – системи, що складаються з твердих частинок, розподілених в газовому середовищі.

Характерною ознакою аерозолів є їхня нестійкість: під дією сили тяжіння частинки осідають на різних поверхнях, утворюючи осади (аерогелі), а під дією повітряних потоків ці пилові відкладення можуть знову переходити у завислий стан.

Пожежна небезпека технологічного обладнання в цьому випадку залежить від стану пилу: осілий пил може тліти та горіти; завислий пил може утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Умовою наявності в технологічному обладнанні вибухонебезпечної концентрації горючого пилу є концентрація горючого пилу, що перевищує нижню концентраційну межу поширення полум'я

$$\phi_p \geq \phi_n. \quad (5.7)$$

Запобігання утворенню горючого середовища в апаратах із горючим пилом та волокнами:

- підтримання робочої концентрації горючого пилу в безпечних межах;
- застосування процесів подрібнення з меншим виділенням пилу (вібропомел, зволоження);
- додавання негорючих газів усередину апаратів (флегматизація), додавання до горючого пилу мінеральних речовин (наприклад, крейди);
- улаштування систем місцевого відсмоктування пилу з апаратів;
- використання негорючих газів для пневматичного транспортування горючого пилу;

- встановлення оптимальної швидкості пневмотранспортування з метою запобігання осадження пилу;
- конструювання апаратів із гладкими поверхнями, плавними переходами діаметрів;
- використання вібраторів проти утворення пробок у бункерах та трубопроводах.

Практичне завдання

Розрахункове визначення можливості утворення горючого середовища у технологічному обладнанні та розробка заходів безпеки.

Завдання 1. Зробити висновок про горючість газоповітряної суміші в апараті за умови, що тиск у системі не змінюється і є близьким до атмосферного.

Вихідні дані:

- технологічний апарат – змішувач газу з повітрям;
- горючий газ – бутадієн-1,3;
- витрата бутадієну-1,3 – 12 м³/год;
- витрата повітря – 1 988 м³/год;
- температура суміші – 95 °С.

Завдання 2. Зробити висновок про можливість утворення горючого середовища в апараті з етиловим спиртом. Запропонувати заходи безпеки.

Вихідні дані:

- робоча температура – 40 °С;
- робочий тиск – атмосферний.

Питання для самостійної роботи

1. Класифікація технологічних процесів та апаратів.
2. Визначення можливості утворення горючого середовища в апаратах із горючими газами.

3. Запобігання утворенню горючого середовища в апаратах із горючими газами (заходи безпеки).

4. Визначення можливості утворення горючого середовища в апаратах із легкозаймистими та горючими рідинами.

5. Запобігання утворення горючого середовища в апаратах з легкозаймистими та горючими рідинами (заходи безпеки).

6. Визначення можливості утворення горючого середовища в апаратах із твердими горючими матеріалами (горючим пилом).

7. Запобігання утворенню горючого середовища в апаратах з горючим пилом (заходи безпеки).

Практичне заняття № 6

Визначення вимог до систем забезпечення пожежної безпеки теплових процесів. Робота з нормативними документами

Мета: практично оцінити рівень пожежної безпеки теплових технологічних процесів. Визначити вимоги до систем забезпечення пожежної безпеки теплових процесів відповідно до вимог нормативних документів.

План

6.1 Теплові процеси. Способи передачі тепла. Теплоносії.

6.2 Теплові апарати. Класифікація.

6.3 Пожежна безпека теплових процесів.

6.1 Теплові процеси. Способи передачі тепла. Теплоносії

Теплові процеси – це технологічні процеси, швидкість протікання яких визначається інтенсивністю підведення або відведення тепла.

До них належать процеси нагрівання, охолодження, випаровування та конденсації.

За теплових процесів тепло передається від однієї речовини до іншої.

Рушійною силою будь-якого процесу теплообміну є різниця температур більш нагрітого і менш нагрітого тіл, за наявності якої тепло довільно, відповідно до II закону термодинаміки, переходить від більш нагрітого до менш нагрітого тіла.

Перенесення енергії у формі тепла, яке відбувається між тілами, що мають різну температуру, називається *теплообміном*.

Теплообмін між тілами є обміном енергією між молекулами, атомами і вільними електронами, в результаті теплообміну інтенсивність руху частинок більш нагрітого тіла знижується, а менш нагрітого – зростає.

Тіла, що беруть участь у теплообміні, називаються *теплоносіями*.

Речовина з більш високою температурою, яка в процесі теплообміну віддає тепло, називається *гарячим теплоносієм*, а речовина з більш низькою температурою, яка приймає тепло – *холодним теплоносієм*.

Існують два основні способи проведення теплових процесів: шляхом безпосереднього контактування теплоносіїв; передачею тепла через стінку, яка розділяє теплоносії.

Передача тепла від одного тіла до іншого може відбуватися шляхом: теплопровідності; конвекції; випромінювання.

Теплоносіями можуть бути рідини (вода) і гази (водяна пара, повітря).

Вибір теплоносія залежить від температури нагрівання і необхідності її регулювання. Вони повинні відповідати таким вимогам: мати велику теплоємність і теплоту пароутворення, бути нетоксичними, негорючими, термічно стійкими, не руйнувати стінки апарата і водночас бути дешевими та доступними.

Класифікація теплоносіїв: прямі джерела тепла (полум'я і топкові гази, електричний струм тощо); проміжні теплоносії (водяна пара, гаряча вода, нагріте повітря); високотемпературні теплоносії (органічні рідини, розплави

солей і металів, мінеральні масла тощо); гарячі продукти виробництва (напівпродукти, відходи виробництва, кінцеві продукти).

6.2 Теплові апарати. Класифікація

Залежно від виду енергоносія теплові апарати поділяють на: електричні; парові; газові; на твердому паливі (вугілля, мазут, деревина).

В електротеплових апаратах основним елементом є електронагрівач, в якому електрична енергія перетворюється на теплову або енергію електромагнітного поля.

У парових апаратах використовують енергію насиченої водяної пари. Основним елементом парових апаратів є теплообмінники різних типів.

У газових апаратах енергоносієм є газ. Теплогенеруючі пристрої таких апаратів компактні, мають високий ККД. Однак здатність утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші потребує особливих умов експлуатації газових апаратів.

За способом обігрівання теплові апарати поділяють на: контактні апарати; апарати з непрямим обігріванням; апарати з безпосереднім обігріванням.

Класифікація теплообмінників: нагрівачі, випарники, кип'ятильники; холодильники, конденсатори; кристалізатори; регенеративні теплообмінники тощо.

6.3 Пожежна безпека теплових процесів

Пожежна небезпека теплообмінників обумовлюється пожежовибухонебезпечними властивостями речовин, що нагріваються, горючих теплоносіїв, можливістю утворення горючого середовища, появи у ньому джерел запалювання та наявними шляхами поширення пожежі.

Умови утворення горючого середовища:

1. Горюча речовина з апарата виходить назовні. В результаті її розтікання і випаровування можуть утворитися місцеві горючі концентрації.
2. Продукт, що нагрівається, потрапляє до теплоносія. Якщо в якості теплоносія застосовується водяна пара, то у разі потрапляння до неї горючого продукту, він може потрапити до парового казана або до каналізації, що може призвести до утворення горючої суміші.
3. Теплоносій (пара) потрапляє до продукту, що нагрівають. Це відбувається, коли тиск пари більший за тиск продукту, що нагрівається. У результаті продукт обводнюється і може стати небезпечним для подальших технологічних операцій (у разі потрапляння у високонагрітий апарат вода закипає, тиск підвищується).

Найбільшу небезпеку становлять аварії та пошкодження теплообмінників.

Причини розгерметизації теплообмінників: підвищення тиску; поява температурних напружень; корозія.

Джерела запалювання під час експлуатації теплообмінників: іскрові розряди статичної електрики; іскри під час роботи зі сталевим інструментом; теплота самозаймання продуктів, нагрітих вище температури самоспалахування, відкладень коксу, термополімерів тощо.

Шляхи поширення пожежі: просочена горючими продуктами теплоізоляція теплообмінників; поверхні горючих розлитих рідин; хмара аерозолів органічних теплоносіїв; апарати, комунікації тощо.

Заходи безпеки під час експлуатації теплообмінників

Нормативно-правові акти:

1. Наказ МВС України № 1417 від 30.12.2014. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні.

2. НПАОП 0.00-1.41-88. Загальні правила вибухобезпеки для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв.

Заходи безпеки:

1. Розташування теплообмінних апаратів на відкритих майданчиках з твердим покриттям і ухилами для змивання водою продукту у разі його розливу.

2. Обладнання майданчика для теплообмінних апаратів суцільним бортом заввишки не менше ніж 0,15 м.

3. Обладнання теплообмінних апаратів приладами контролю і регулювання температури і тиску.

4. Контроль герметичності з'єднань під час експлуатації теплообмінних апаратів.

5. Очищення і продування міжтрубного та трубного простору теплообмінних апаратів необхідно проводити водяною парою.

6. Своєчасна заміна теплоізоляції теплообмінних апаратів, що просочені горючими речовинами.

7. Дотримання графіку планово-запобіжних оглядів і ремонту теплообмінних апаратів.

8. Своєчасне очищення поверхні теплообмінних апаратів від відкладень.

Практичне завдання

Визначити основні заходи пожежної безпеки теплових процесів згідно з вимогами нормативного документа НПАОП 0.00-1.41-88 Загальні правила вибухобезпеки для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв (розділ 2).

Класифікувати визначені заходи пожежної безпеки за напрямками, що вказані у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Заходи пожежної безпеки теплових процесів

Заходи пожежної безпеки, що запобігають утворенню горючого середовища	Заходи пожежної безпеки, що виключають можливість появи джерела запалювання	Заходи пожежної безпеки, що обмежують поширення пожежі

Питання для самостійної роботи

1. Способи передачі тепла.
2. Способи проведення теплових процесів.
3. Способи нагрівання горючих речовин.
4. Характеристика теплоносіїв. Класифікація.
5. Теплообмінники. Типи.
6. Класифікація теплообмінників.
7. Пожежна небезпека теплообмінників.
8. Причини пошкодження теплообмінників.
9. Джерела запалювання під час експлуатації теплообмінників.
10. Шляхи поширення пожежі під час експлуатації теплообмінників.
11. Забезпечення пожежної безпеки теплових процесів та апаратів.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ГАЗОДИМОЗАХИСТ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ ТА ПРИМІЩЕНЬ

Практичне заняття № 7

Визначення складу та небезпечних властивостей диму.

Оцінка зон задимлення

Мета: вміти практично оцінювати небезпечні властивості продуктів горіння. Визначати зони задимлення під час пожежі у виробничих приміщеннях.

План

7.1 Продукти горіння. Класифікація та характеристика.

7.2 Дим. Оцінка зони задимлення під час пожежі.

7.3 Небезпека продуктів горіння.

7.1 Продукти горіння. Класифікація та характеристика

Горіння – це фізико-хімічний процес, основою якого є окислювально-відновна реакція. Супроводжується вона викидом енергії у вигляді вогню, тепла і світла. У цьому процесі беруть участь речовина або суміш речовин, які горять, – відновники, а також окислювач (найчастіше кисень).

У разі повного згоряння органічних речовин утворюються зазвичай вуглекислий газ і вода. У разі неповного згоряння (що відбувається за нестачі повітря), крім вуглекислого газу і парів води, утворюються й інші сполуки типу монооксиду (CO), складних органічних сполук (спиртів, кетонів, альдегідів, кислот тощо).

До найбільш небезпечних належать такі продукти горіння:

1. Монооксид вуглецю (CO) – отруйний газ, в молекулі якого вуглець знаходиться в ступені окислення +2. Тому ця сполука може «тліти», тобто

продовжувати реакцію з киснем. Не має ні кольору, ні запаху. Легко поєднується з гемоглобіном крові (у 250–300 раз активніше, ніж кисень), внаслідок чого зменшує здатність крові поглинати кисень, що призводить до кисневого голоду організму.

2. Сірчистий газ (SO_2) – безбарвний газ із різким запахом підпаленого сірника. Виділяється сірчистий газ під час горіння сірки, сірковмісних органічних і неорганічних сполук, наприклад, сірководню (H_2S). Сірководень – отруйний газ, має характерний запах тухлих яєць, виділяється під час термічного розкладання деяких сполук.

3. Ціаністий водень (синильна кислота) (HCN) – безбарвна рідина, легко переходить у газоподібний стан. Під час горіння виділяється в атмосферу у вигляді газу. Має характерний запах гіркої мигдалю. Синильна кислота дуже отруйна, концентрація в повітрі 0,01 % призводить до летального результату.

4. Акролеїн – ненасичений альдегід акрилової кислоти. Сильно летка рідина. Високореакційна сполука, що обумовлює високу токсичність. Акролеїн безбарвний, з різким запахом.

5. Формальдегід (альдегід мурашиної кислоти) – токсичний, безбарвний газ з різким запахом.

Концентрація отруйних речовин у перші хвилини пожежі вище граничної у 12–100 разів. Швидкість поширення диму й отруйних речовин дуже велика (до 20 м/хв по вертикалі).

7.2 Дим. Оцінка зони задимлення під час пожежі

Будь-яке горіння супроводжується виділенням диму.

Дим – стійка дисперсна система, яка складається з дрібних твердих частинок вуглецю (від 10^{-7} м до 10^{-5} м), що не згоріли, які знаходяться у завислому стані і утворились під дією високої температури в процесі розкладання горючого матеріалу. Наявність твердої дисперсної фази

обумовлює непрозорість диму. Ступінь прозорості диму залежить від концентрації і розміру твердих частинок дисперсної фази.

Концентрація диму – це кількість продуктів горіння, що знаходяться в одиниці об'єму приміщення (г/м^3 або об'ємні частки).

Дим під час горіння більшості органічних речовин складається з продуктів повного згорання (вуглекислий газ, водяна пара), продуктів неповного згорання (монооксид вуглецю, сажа) та залишкових газів (кисень згорання, азот).

Зоною задимлення називають частину простору, що межує із зоною горіння і заповнюється димовими газами у таких концентраціях, які створюють загрозу для життя та здоров'я людей або ускладнюють дії пожежних підрозділів. Зона задимлення містить зону теплового впливу і за розмірами перевищує її. Вона є небезпечною для людини, якщо вміст монооксиду вуглецю складає понад 0,2 %, вуглекислого газу – понад 6 %, кисню – менше 17 %.

За наявності в зоні горіння небезпечних хімічних речовин, пластмас, фанери можуть виділятися токсичні продукти: фенол, формальдегід, хлористий водень, ціаністий водень, оксиди азоту та інші речовини.

Зона задимлення під час пожежі має форму трапеції (рис. 7.1).

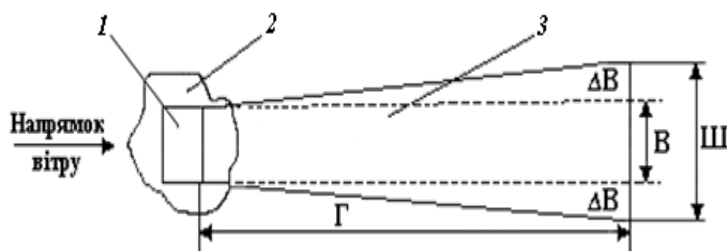


Рисунок 7.1 – Форма зони задимлення: 1 – об'єкт, на якому сталася пожежа; 2 – зона теплового впливу; 3 – зона задимлення; B – ширина зони горіння (дорівнює ширині об'єкта), м; ΔB – бічне розсіювання; Γ – глибина зони задимлення, м; Ш – ширина зони задимлення, м

Ширину зони задимлення (Ш) визначають за такою формулою:

$$Ш = B + 2\Delta B, \quad (7.1)$$

де B – ширина зони горіння (дорівнює ширині об'єкта), м;

ΔB – бічне розсіювання, м, за стійкого вітру ($V_B \geq 1 \text{ м/с}$), $\Delta B = 0,1 \cdot \Gamma$, за нестійкого вітру ($V_B < 1 \text{ м/с}$), $\Delta B = 0,4 \cdot \Gamma$.

Визначення глибини небезпечної за токсичною дією частини зони задимлення (Γ , м) здійснюють за таким співвідношенням:

$$\Gamma = \frac{34,2}{K_1} \cdot \left| \frac{M_{т.н.}}{K_2 \cdot W \cdot D} \right|^{\frac{2}{3}}, \quad (7.2)$$

де K_1 – коефіцієнт шорсткості поверхні (1 – відкрита поверхня; 2 – степова рослинність, сільгоспугіддя; 2,5 – чагарник, окремі дерева; 3,3 – міська забудова, ліс;

$M_{т.н.}$ – маса токсичних продуктів горіння, кг;

K_2 – коефіцієнт ступеня вертикальної стійкості повітря (інверсія – 1; ізотермія – 1,5; конвекція – 2);

w – швидкість перенесення переднього фронту диму, км/год;

D – порогова токсична доза, мг·хв/л.

7.3 Небезпека продуктів горіння

Головним завданням всієї системи протипожежного захисту є забезпечення захисту людей від небезпечних факторів пожежі, якими супроводжується горіння та рятування людей у разі пожежі.

Ігнорування вимог до утримання евакуаційних шляхів і виходів у належному стані може призвести до затримки під час евакуації людей та нещасних випадків.

З огляду на аналіз пожеж та загибелі людей на них, можна зробити висновок, що найбільш суттєвими факторами, які створюють загрозу для життя та здоров'я людини, яка перебуває в зоні пожежі, є:

- токсичні продукти горіння;
- вогонь та променисті потоки;
- підвищена температура середовища;
- дим;
- недостатність (знижена концентрація) кисню;
- вибухи, витоки небезпечних речовин, що відбуваються внаслідок пожежі;
- руйнування будівельних конструкцій;
- ураження електричним струмом;
- паніка.

Більшість людей гине на пожежах внаслідок отруєння токсичними продуктами горіння. Основними з них є монооксиди вуглецю та сірки, аміак, газоподібні соляна (хлористоводнева) і синильна (ціанистоводнева) кислоти, ароматичні та аліфатичні вуглеводні, аліфатичні альдегіди.

Показник токсичності продуктів горіння – це відношення кількості матеріалу (речовини) до одиниці об'єму замкнутого простору, в якому газоподібні продукти горіння матеріалу (речовини), спричиняють загибель 50 % піддослідних тварин.

Найчастіше під час пожежі люди отримують смертельне отруєння монооксидом вуглецю (чадним газом), який небезпечний тим, що в 200–300 разів інтенсивніше реагує з гемоглобіном крові, ніж кисень. Внаслідок цього кров'яні тілця втрачають здатність постачати організм киснем, що спричиняє кисневе голодування, гіпоксію, порушення координації рухів, депресію. Можливе припинення дихання, смерть.

За характером впливу на організм людини всі хімічні речовини, що входять до складу диму, поділяють на речовини, що мають: опікову,

подразнюючу дію на шкірні покриви і слизові оболонки; подразнюють органи дихання; токсичні речовини, що діють переважно на кров; речовини-отрути, що впливають на нервову систему; ферментні або обмінні отрути, що діють на функцію дихання.

Практичне завдання

Визначити ширину зони задимлення, яка утворилася під час спалахування ємностей з бензином у виробничому приміщенні. Зона задимлення під час пожежі має форму трапеції (рис. 7.1).

Вихідні дані для розрахунків:

- розміри виробничого приміщення – 75 м × 20 м × 10 м;
- маса токсичних продуктів горіння 16 кг;
- швидкість переносу переднього фронту диму – 7 км/год;
- ступінь вертикальної стійкості повітря – конвекція – 2;
- порогова токсична доза для монооксиду вуглецю – 60 мг хв/л;
- швидкість середнього вітру – 1 м/с.

Питання для самостійної роботи

1. Назвати основні речовини, що виділяються під час горіння.
2. Що таке дим? Дати визначення.
3. Від чого залежить ступінь прозорості диму?
4. Який дим вважають густим?
5. Яка видимість для диму середньої та слабкої густини?
6. Що таке зона задимлення?
7. Яка зона задимлення вважається для людини небезпечною?
8. Назвати токсичні речовини, що виділяються під час задимлення.
9. За яким параметром оцінюють зону задимлення?
10. Назвати токсичні продукти горіння.

11. Дати визначення поняття «показник токсичності продуктів горіння».
12. Класифікація хімічних речовин, що входять до складу диму залежно від дії на організм людини.
13. Який газ є найбільш поширеним та токсичним під час пожежі?

Практичне заняття № 8

Визначення вимог до систем димовидалення у виробничих приміщеннях та будівлях. Робота з нормативними документами

Мета: закріпити теоретичні знання з основних питань лекції щодо вимог до систем димовидалення у виробничих приміщеннях та будівлях. Вміти визначати та обґрунтовувати вимоги нормативних документів до влаштування системи протидимного захисту у пожежовибухонебезпечних виробничих та складських приміщеннях.

План

- 8.1 Системи димовидалення. Види систем.
- 8.2 Принцип роботи системи димовидалення.
- 8.3 Загальні вимоги до систем протидимного захисту.

8.1 Системи димовидалення. Види систем

Система димовидалення є одним із важливих елементів пожежної безпеки будівель та споруд. Вона призначена для автоматичного виявлення диму та ефективного видалення його з приміщення з метою забезпечення безпеки людей, які перебувають всередині, і зменшення матеріальних збитків внаслідок пожежі.

Мета системи протидимного захисту:

- забезпечення умов для безпечної евакуації;

- забезпечення умов для гасіння пожежі та проведення пожежно-рятувальних робіт;
- зменшення ймовірності займання предметів, обладнання, речовин і матеріалів під впливом теплового випромінювання;
- зменшення впливу високих температур на конструкції будинку під час пожежі;
- зменшення збитків від продуктів термічного розкладу та гарячих газів.

Види систем димовидалення:

1. Статичні: у разі виникнення пожежі відбувається екстрене вимкнення центральної системи вентиляції, за якої відбувається локалізація загоряння та запобігання поширенню диму по всій будівлі.

2. Динамічні використовують на об'єктах із великою площею. Димовідведення відбувається за допомогою вентиляторів, які можуть працювати як для видалення диму, так і для подачі свіжого повітря в приміщення.

За ступенем автоматизації системи димовидалення поділяють на: автоматичні; напіваавтоматичні.

Переваги систем димовидалення: швидка реакція; автоматичність; надійність; можливості інтеграції.

8.2 Принцип роботи системи димовидалення

Основні компоненти роботи системи димовидалення: детектори диму; контрольна панель; сповіщувачі; система вентиляції; резервне живлення.

Принципи роботи системи димовидалення:

1. *Виявлення диму:* детектори диму постійно контролюють повітря в приміщенні. Якщо вони виявляють збільшення концентрації диму, то вони надсилають сигнал до контрольної панелі.

2. *Сигнал до контрольної панелі*: контрольна панель аналізує інформацію від детекторів і визначає, чи є це загрозою пожежі. Якщо так, то вона активує сповіщувачі та систему вентиляції.

3. *Активація сповіщувачів*: сповіщувачі починають поширювати сигнал про пожежу, щоб повідомити всіх присутніх про небезпеку. Це може бути звуковий сигнал і світлові маяки.

4. *Активація системи вентиляції*: під час активації системи вентиляції вентилятори починають працювати на повну потужність, щоб швидко вивести дим із будівлі. За необхідності відкриваються спеціальні заслінки на вентиляційних отворах.

5. *Контроль і реагування*: контрольна панель постійно моніторити ситуацію та стан системи. Якщо пожежа була успішно локалізована і дим виведений із приміщення, система повертається в режим очікування.

8.3 Загальні вимоги до систем протидимного захисту

Влаштування систем протидимного захисту регламентується вимогами нормативних документів:

1. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту.

2. ДБН В.2.2-9: 2018 Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення.

3. ДБН В.2.2-15: 2019 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення.

4. ДСТУ EN 12101-1:2012 Системи димо- та тепловидалення. Частина 1. Технічні вимоги до протидимових завіс (EN 12101-1:2005, IDT + EN 12101-1:2005/A1:2006, IDT).

Відповідно до будівельних норм обладнанню системами димовидалення підлягають висотні (понад 10 поверхів) будівлі, підземні споруди, приміщення без природної вентиляції.

Згідно з вимогами нормативних документів видалення диму та гарячих газоподібних продуктів згоряння необхідно передбачати:

- із коридорів і холів житлових, громадських та адміністративно-побутових будинків;
- із коридорів виробничих, житлових, громадських та адміністративно-побутових будинків умовною висотою більше ніж 26,5 м;
- із коридорів довжиною більше ніж 15 м, які не мають природного освітлення, виробничих будинків категорій А, Б та В із кількістю поверхів два та більше;
- із виробничих та складських приміщень із постійними робочими місцями, якщо приміщення належать до категорій А, Б, В, Г, а також категорії Д у будинках IVa ступеня вогнестійкості;
- із торгівельних залів площею більше, ніж 150 м², книгосховищ та архівів;
- із приміщень, які не мають природного освітлення: громадських та адміністративно-побутових із постійним або тимчасовим перебуванням 50-ти і більше осіб; приміщень площею 55 м² і більше, які призначені для зберігання або використання горючих матеріалів за наявності постійних робочих місць; гардеробних площею 200 м² і більше.

Практичне завдання

Визначити основні вимоги до елементів систем протидимного захисту.

Обґрунтувати вимогами нормативного документа влаштування системи протидимного захисту у пожежовибухонебезпечних виробничих та складських приміщеннях.

Питання для самостійної роботи

1. Система димовидалення та протидимна вентиляція. Призначення.
2. Мета системи протидимного захисту.

3. Види систем димовидалення та характеристика.
4. Складові системи димовидалення та їхня характеристика.
5. Основні компоненти роботи системи димовидалення.
6. Принцип роботи системи димовидалення.
7. Нормативні документи, що регламентують вимоги до систем протидимного захисту.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ДО ПЕРШОГО ЗМІСТОВОГО МОДУЛЮ

Лабораторна робота № 1

Визначення небезпечних чинників пожежі

Мета: дослідження небезпеки впливу токсичних продуктів згоряння. Визначення безпечних параметрів знаходження людини в осередку пожежі.

Зміст роботи

Загальні відомості. До небезпечних чинників пожежі належать: полум'я та іскри; підвищена температура навколишнього середовища; токсичні продукти згоряння і термічного розкладання; дим; знижена концентрація кисню.

Вогонь, полум'я – надзвичайно небезпечний фактор пожежі, однак випадки його безпосередньої дії на людей досить нечасті. Під час пожежі температура полум'я може досягати 1 200–1 400 °С, і у людей, що знаходяться у зоні пожежі випромінювання полум'я, можуть виникати опіки та больові відчуття. Мінімальна відстань, на якій ще людина може знаходитись від полум'я, приблизно складає:

$$R = 1,6H, \quad (1.1)$$

де H – середня висота факелу полум'я (м).

Небезпека підвищеної температури середовища полягає в тому, що вдихання розігрітого повітря разом із продуктами згоряння може призвести до ураження органів дихання та смерті. В умовах пожежі підвищення

температури середовища до 60 °С вже є життєво небезпечною для людини (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Інтенсивності теплового випромінювання та час, протягом якого людина може їх витримувати

Інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м ²	840	1 400	2 100	2 800	3 500	7 000
Час витримування дії теплового випромінювання, с	360	150	40–60	30–40	10–30	5–11

Дим – це велика кількість найдрібніших часточок незгорілих речовин, що знаходяться у повітрі. Він спричиняє інтенсивне подразнення органів дихання та слизових оболонок (сильний кашель, слезотечу). Крім того, у задимлених приміщеннях внаслідок погіршення видимості сповільнюється евакуація людей, а часом провести її зовсім не можливо. У разі значної задимленості приміщення видимість предметів, що освітлюються лампочкою потужністю 20 Вт, складає не більше 2,5 м. Недостатність кисню спричинена тим, що в процесі горіння відбувається хімічна реакція оксидування горючих речовин та матеріалів. Небезпечною для життя людини вважається ситуація, коли вміст кисню в повітрі знижується до 14 % (норма 21 %). При цьому втрачається координація рухів, з'являється слабкість, запаморочення, загальмовується свідомість.

Токсичні продукти згоряння становлять найбільшу загрозу для життя людини, особливо під час пожеж у будівлях. Адже в сучасних виробничих, побутових та адміністративних приміщеннях знаходиться значна кількість синтетичних матеріалів, що є основними джерелами токсичних продуктів згоряння. Наприклад, під час горіння пінополіуретану та капрону утворюється ціанистий водень (синильна кислота), під час горіння вінілпласту – хлористий водень та монооксид вуглецю, під час горіння лінолеуму – сірководень та

сірчистий газ тощо. Найчастіше під час пожеж відзначається високий вміст у повітрі монооксиду вуглецю. Так, в підвалах, шахтах, тунелях, складах його вміст може становити від 0,15 % до 1,5 %, а в приміщеннях – 0,1–0,6 %. Необхідно зазначити, що монооксид вуглецю – це отруйний газ і вдихання повітря, в якому його вміст становить 0,4 % – смертельне.

Завдання

1. Визначити небезпечні чинники пожежі. Оцінити можливий вплив на людей.
2. Визначити мінімальну безпечну відстань, на якій людина ще може знаходитись від полум'я на момент його виникнення.
3. Встановити час, протягом якого працівник підприємства може витримувати теплове випромінювання під час пожежі на момент її виникнення.

Вихідні дані:

- приміщення складу полімерних матеріалів;
- горюча речовина – полівінілхлоридний пластик;
- на момент виникнення пожежі в приміщенні знаходяться працівники складу;
- висота полум'я на момент виникнення пожежі – 5 м;
- інтенсивність теплового випромінювання від осередку пожежі – $2\,200\text{ Вт/м}^2$.

Порядок виконання роботи

1. Дослідити небезпечні чинники пожежі, що можуть виникнути на складі полімерних матеріалів, і встановити найбільш небезпечні для людини.
2. Розрахувати мінімальну безпечну відстань для працівника підприємства від полум'я пожежі на момент її виникнення за формулою (1.1).

3. Визначити час, протягом якого працівник підприємства може витримувати теплове випромінювання під час пожежі на момент її виникнення (табл. 1.1).

Питання для самостійної роботи

1. Які первинні прояви пожежі належать до небезпечних чинників?
2. Назвати вторинні прояви небезпечних чинників пожежі.
3. У чому полягає небезпека полум'я пожежі?
4. Яка температура під час пожежі є смертельно небезпечною для людини?
5. Назвати основні токсичні продукти згоряння.
6. Який токсичний газ найчастіше є причиною отруєння людей?

Лабораторна робота № 2

Дослідження процесів горіння

Мета: закріпити теоретичні знання з основних питань лекції щодо процесів горіння. Оволодіти розрахунковими та експериментальними методами досліджень процесів, що відбуваються в полум'ї.

Зміст роботи

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

Горіння газів або парів рідин є гомогенним, і дефлаграційний режим гомогенного горіння характеризується наявністю полум'я.

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

Залежно від газодинамічного режиму надходження компонентів горючої суміші до зони горіння полум'я може бути *ламінарним або турбулентним*.

У структурі ламінарного полум'я можна виділити декілька зон (рис. 2.1).

Зона горіння – досить тонкий шар, в якому протікають основні хімічні перетворення (реакції окиснення) з великою швидкістю, тобто відбувається процес горіння. Температура в різних зонах полум'я та в самій зоні горіння не є однаковою. Приблизний розподіл температури в полум'ї наведено на рисунку 2.2.

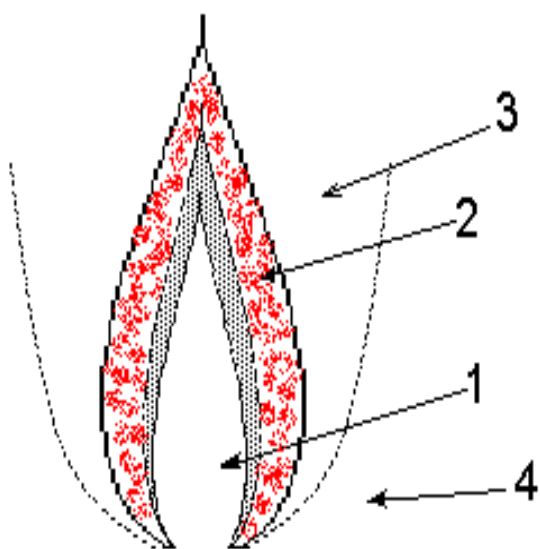


Рисунок 2.1 – Структура ламінарного полум'я: 1 – підготовча зона: зона горючих парів та газів; зона суміші горючої речовини з продуктами горіння; 2 – зона горіння; 3 – зона суміші продуктів горіння з повітрям; 4 – зона холодного повітря

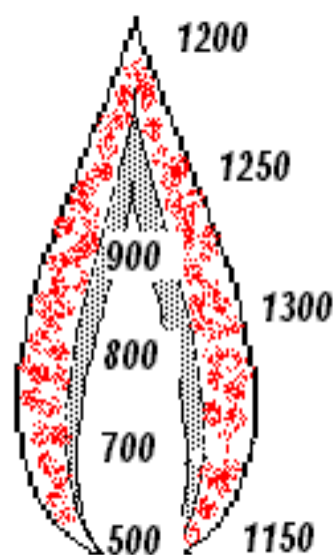


Рисунок 2.2 – Розподіл температури в полум'ї

Температура зони горіння є найбільшою, але вона також не є однаковою по висоті полум'я. Пояснюється це зміною складу суміші в зоні горіння та витратами тепла на нагрівання компонентів, які надходять у цю зону.

Колір дифузійного полум'я залежить від хімічного складу горючої речовини. Якщо в складі горючої речовини є достатньо кисню (кисню), то карбон (вуглець) утворює оксид карбону (IV) – вуглекислий газ CO_2 . Така

речовина горить безколовим або блакитним полум'ям. Якщо під час горіння утворюється багато вуглецю, на окиснення якого не вистачає кисню, що надходить у зону горіння, вуглець виділяється у виді сажі. Полум'я буде яскравим та кіптявим. Дані про характер світіння полум'я залежно від відсоткового вмісту компонентів наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Залежність кольору дифузійного полум'я від складу горючої речовини

Характер світіння полум'я	Вміст елементів у горючій речовині	
	Карбон	Оксиген
Безбарвне	більше 50 %	до 50 %
Яскраве, без кіптяви	від 25 % до 50 %	від 50 % до 75 %
Яскраве, з кіптявою	менше 25 %	більше 75 %

Завдання

1. Повторити ознаки класифікації процесів горіння.
2. Розглянути будову ламінарного полум'я.
3. Визначити, від чого залежить колір дифузійного полум'я.
4. Розрахунковим методом визначити колір дифузійного полум'я.
5. Експериментально дослідити колір дифузійного полум'я.
6. Порівняти результати, отримані розрахунковим і експериментальним методами.

Вихідні дані

Горюча речовина – пропіоновий ангідрид ($C_6 H_{10} O_3$).

Розрахункова частина

Розрахувати молярну масу горючої речовини – пропіонового ангідриду ($C_6 H_{10} O_3$).

Визначити відсоток кисню та карбону у складі горючої речовини.

За таблицею 2.1 визначити колір дифузійного полум'я.

Лабораторне дослідження

Лабораторне обладнання: витяжна шафа, штатив, підставка, сірники, порцелянова чашка, 5 мл пропіонового ангідриду.

Хід роботи

У порцелянову чашку налити 5 мл пропіонового ангідриду.

Чашу з речовиною поставити на підставку (сітку) або встановити на штатив.

Запалити сірник.

Піднести запалений сірник до поверхні рідини і підпалити.

Провести спостереження за кольором полум'я.

Результати дослідження записати.

Техніка безпеки під час роботи з лабораторним обладнанням

Дотримуватись правил техніки безпеки під час роботи в лабораторії.

Всі роботи з приладами проводити лише під керівництвом викладача за його присутності.

Роботу проводити за умов працюючої витяжної вентиляції і в засобах індивідуального захисту (халат, окуляри).

Необхідно дотримуватись акуратності та обережності під час заповнення чаші горючою рідиною. Не використовуйте велику кількість горючої рідини.

Поряд із місцем, де проводять дослідження, не повинно бути зайвих предметів, паперу, легкозаймистих речовин.

На випадок розливу рідини засипати її піском, який потім зібрати в спеціальну ємність для видалення з лабораторії.

Під час запалювання використовуйте сірник або запальничку з довгою ручкою, запалювання здійснюйте на відстані витягнутої руки.

Підпалювання горючої рідини необхідно проводити під кутом, а не безпосередньо зверху.

У разі поширення загоряння накрити посудину вогнетривкою тканиною

або засипати піском.

Питання для самостійної роботи

1. Який процес називають горінням?
2. Дати визначення поняття «полум'я».
3. Назвати види полум'я.
4. Яку зону називають зоною горіння?
5. Назвати зони ламінарного полум'я.
6. Від чого залежить колір дифузійного полум'я?
7. Як називається повільний режим входження компонентів горючої суміші до зони реакції горіння?
8. Як називається інтенсивний режим входження компонентів горючої суміші до зони реакції горіння?

Лабораторна робота № 3

Оцінка запалювальної здатності виробничих джерел тепла

Мета: дослідити умови запалювання горючого середовища від виробничих джерел тепла. Показати можливість запалювання горючої суміші від високонагрітої поверхні.

Зміст роботи

Загальні відомості. Актуальність цієї роботи обумовлена тим, що переважна більшість пожеж і вибухів на виробництві відбувається через вимушене запалювання горючих сумішей, тобто через занесення джерела запалювання до горючого середовища. Аналіз статистичних даних свідчить про те, що понад 80 % пожеж відбувається через появу у горючому середовищі джерела запалювання різного походження. Якщо говорити про природу

виникнення джерел запалювання, то найбільша кількість загорянь на виробництві відбувається через теплові прояви хімічної енергії.

Джерело запалювання – це тіло, що горить, або розжарене тіло, а також електричний розряд, які мають енергію і температуру, достатні для запалювання (виникнення горіння) інших горючих речовин.

Температура запалювання – це найменша температура нагрітого тіла, за якої досягається рівновага між тепловиділенням хімічної реакції окиснення у пристінному шарі горючої суміші й тепловіддачею у навколишню холодну суміш.

Мінімальною енергією запалювання (E_{min}) газу, пари або аерозолі речовини у повітрі називають найменшу енергію конденсатора, у разі розряду якого через повітряний проміжок виникає іскра, що запалює стехіометричну суміш речовини з повітрям із ймовірністю 0,01.

Відомо, що не будь-яке джерело тепла здатне запалити будь-яке горюче середовище і навіть горючу суміш. Для того, щоб джерело тепла (ДТ) стало джерелом примусового запалювання конкретного горючого середовища, необхідне виконання трьох умов:

- температура джерела тепла ($t_{д.т.}$) повинна бути не нижче температури самоспалахування горючої речовини ($t_{сп}$);
- енергія джерела тепла ($w_{д.т.}$) повинна бути не менше мінімальної енергії запалювання горючого середовища (w_{min});
- тривалість дії джерела тепла ($\tau_{д.т.}$) повинна бути не менше періоду індукції ($\tau_{інд.}$).

Перераховані умови появи джерела запалювання у горючому середовищі можна подати таким чином:

$$t_{д.т.} \geq t_{сп}, \quad (3.1)$$

$$W_{д.т.} \geq W_{min}, \quad (3.2)$$

$$\tau_{д.т.} \geq \tau_{інд.}, \quad (3.3)$$

де $t_{\text{дт}}$, $t_{\text{ссп}}$ – температура джерела запалювання і температура самоспалахування горючої суміші відповідно, $^{\circ}\text{C}$;

$W_{\text{дт}}$, $W_{\text{мін}}$ – енергія джерела запалювання і мінімальна енергія запалювання горючої суміші відповідно, Дж.

До основних напрямів щодо попередження джерел запалювання належать:

- запобігання контакту горючого середовища з відкритим полум'ям та розжареними продуктами горіння;
- попередження небезпечного впливу іскор топок та двигунів;
- запобігання утворенню фрикційних іскор;
- попередження нагрівання тіл під час тертя та ударів;
- запобігання нагрівання газів під час стиснення тощо.

Завдання

1. Показати небезпеку виникнення джерела запалювання у разі пошкодження теплоізоляції на ділянці паропроводу у виробничому приміщенні, де можливі витoki горючих речовин.

2. Підібрати безпечні умови експлуатації технологічного обладнання.

3. Запропонувати заходи пожежної безпеки.

Вихідні дані:

- хімічне виробниче приміщення;
- технологічне обладнання – хімічний реактор;
- хімічна речовина – легкозаймиста рідина сірковуглець (CS_2);
- додаткове обладнання – теплоізолюючий паропровід системи опалення (тиск нагрітої пари 0,2 МПа).

На паропроводі виявлена ділянка з пошкодженою теплоізоляцією.

Порядок виконання роботи

Визначити показники пожежної небезпеки горючої речовини (температуру самоспалахування, мінімальну енергію запалювання (табл. А.2, дод. А)).

Встановити температуру нагрітої поверхні паропроводу:

- з огляду на тиск парів (табличні дані – фізичні параметри води та водяної пари на лінії насичення – $t_{в.п.} = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- експериментально шляхом проведення вимірів за допомогою термометрів, термопар або з використанням сучасних безконтактних методів (за допомогою пірометрів, тепловізорів (рис. 3.1)).

Оцінити можливість запалювання парів горючої речовини від нагрітого тіла (незахищеної ділянки паропроводу), яка є постійним тепловим джерелом у виробничому приміщенні за умовами оцінки запалюючої здатності джерела тепла (3.1–3.3).



Рисунок 3.1 – Вимірювання температури поверхні трубопроводів за допомогою тепловізора

Підібрати безпечні умови експлуатації технологічного обладнання, використовуючи такі умови:

$$W_{\text{без.}} \leq 0,4W_{\text{min}}, \quad (3.4)$$

$$t_{\text{без.}} \leq 0,8t_{\text{тл}}, \quad (3.5)$$

$$t_{\text{без.}} \leq 0,8t_{\text{ссп}}, \quad (3.6)$$

де $W_{\text{без.}}$, W_{min} – безпечна енергія джерела тепла та мінімальна енергія запалювання горючої суміші відповідно, Дж;

$t_{\text{без.}}$, $t_{\text{тл}}$, $t_{\text{ссп}}$ – безпечна температура джерела тепла, температура тління та температура самоспалахування горючої суміші відповідно, °С.

Запропонувати заходи пожежної безпеки.

Питання для самостійної роботи

1. Дати визначення поняття «джерело запалювання», «температура запалювання», «мінімальна енергія запалювання».
2. Класифікація виробничих джерел запалювання.
3. Умови запалювальної здатності джерела тепла.
4. Визначення безпечних параметрів ведення технологічних процесів.
5. Назвати сучасні безконтактні методи технічного діагностування обладнання промислових підприємств.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ДО ДРУГОГО ЗМІСТОВОГО МОДУЛЮ

Лабораторна робота № 4

Дослідження пожежовибухонебезпеки технологічного обладнання під час аварій та пошкодження

Мета: мати навички дослідження можливих причини пошкодження технологічного обладнання та володіння розрахунковими методами оцінки його небезпеки під час аварій та пошкодженнях.

Зміст роботи

Загальні відомості. Вивчаючи цю тему, необхідно усвідомити, що найбільшу небезпеку для виробництв становлять аварійні ситуації та аварії, за яких горючі речовини виділяються у виробничі приміщення або на відкриті майданчики та утворюють пожежовибухонебезпечні зони.

Аварійна ситуація – стан потенційно небезпечного об'єкта, що характеризується порушенням меж та/або умов безпечної експлуатації, але не перейшов в аварію, за якого всі несприятливі впливи джерел небезпеки на персонал, населення та навколишнє середовище утримуються в обраних межах за допомогою відповідних технічних засобів, передбачених проєктом.

Аварія – небезпечна подія техногенного характеру, що створює на об'єкті, території або екваторії загрозу для життя здоров'я людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи завдає шкоди довкіллю і за якої відбувається витік чи викид у великих кількостях небезпечних хімічних або радіоактивних речовин у навколишнє середовище, велика пожежа або вибух, які є наслідком непередбачуваних обставин, що виникають у процесі тієї чи іншої виробничої діяльності.

Аварія характеризується виходом із ладу, ушкодженням якогось апарата, машини, установки під час роботи, руху.

Характерні ознаки аварійних ситуацій: переливання рідини внаслідок переповнювання апаратів; інтенсивне (зокрема аварійне) скидання речовин (газів, парів, рідин) через захисні клапани (внаслідок підвищення тиску в апараті) і дренажні пристрої.

Види пошкоджень технологічного обладнання: локальне; повне.

Види впливів на технологічне обладнання:

- механічні впливи (підвищення внутрішнього тиску, динамічні навантаження (вібрація, гідроудар); удари вантажів, необережна робота цехового транспорту; ударна дія уламків під час аварій сусідніх апаратів тощо);
- температурні впливи (температурні перенапруження в матеріалі обладнання; дія високих і низьких температур на матеріал обладнання);
- хімічні впливи (хімічна, електрохімічна корозія).

Пожежна небезпека при локальних пошкодженнях апаратів обумовлюється: пожежонебезпечними властивостями речовин; масою (кількістю) горючих речовини, що виходять назовні при аварії; швидкістю витоку горючих речовин; тривалістю виходу горючих речовин.

Кількість горючих речовин, що виходять назовні під час локальних пошкоджень апаратів визначають за такою формулою:

$$m_{\text{л}} = \alpha \cdot f \cdot \omega \cdot \rho_t \tau, \quad (4.1)$$

де $m_{\text{л}}$ – кількість горючих речовин, що виходять назовні, кг;

α – коефіцієнт витрати, змінюється в межах 0,45–0,85;

f – площа перерізу отвору, через який горюча речовина виходить назовні, м^2 ;

ω – швидкість витікання речовини через отвір, м/с ;

ρ_t – густина речовини за робочою температурою, кг/м^3 ;

τ – тривалість витікання, с.

Кількість горючих речовин, що виходять назовні з системи під час повного пошкодження апаратів, визначають за такими формулами:

$$m_p = m_{ap} + m_{tp1} + m_{tp2}, \quad (4.2)$$

де m_p – кількість горючої речовини, що виходить із системи під час повного пошкодження апарата, кг;

m_{ap} – кількість горючих речовин, які знаходяться в апараті до його пошкодження, кг;

m_{tp1}, m_{tp2} – кількість горючих речовин, що подають до апарата через трубопроводи до моменту його вимкнення, кг;

$$m_p = (V_{ap} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n g_{n,k} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k L_{tp} \cdot f_{tp}) \cdot \rho_p, \quad (4.3)$$

де V_{ap} – внутрішній об'єм апарата, м³;

ε – ступінь (коефіцієнт) заповнення апарата;

g_n, g_k – відповідно продуктивність насоса, компресора (або пропускна спроможність трубопроводу), які подають до апарата горючі речовини, м³/с;

L_{tp}, f_{tp} – відповідно довжина (м) та переріз (м²) ділянки трубопроводу (від аварійного апарата до запірного пристрою), з якого витікає рідина або газ;

ρ_{tr}, ρ_p – густина газу або рідини, кг/м³;

k – кількість ділянок трубопроводів, що сполучені з аварійним апаратом.

Завдання

1. Дослідити можливі причини пошкодження технологічного обладнання (апарата).
2. Визначити вид пошкодження апарата.
3. Визначити кількість горючої речовини, що виходить назовні під час пошкодження апарата.
4. Запропонувати заходи щодо попередження пошкодження цього апарата.

Вихідні дані:

- технологічний апарат із легкозаймистою рідиною;
- легкозаймиста рідина – ацетон;
- робоча температура – 25 °С;
- ознаки аварії апарата: витік рідини назовні через отвір діаметром ($d_{\text{отв}}$) – 1,5 мм; швидкість витоку рідини через отвір – 22,76 м/с, коефіцієнт витрати (α) – 0,6;
- пошкодження апарата ліквідовано за 25 хвилин.

Порядок виконання роботи

1. Визначити можливі причини пошкодження апарата.
2. Встановити вид пошкодження технологічного обладнання.
3. Визначити формулу, за якою необхідно проводити розрахунки (залежно від виду пошкодження).
4. Визначити фізико-хімічні та пожежонебезпечні показники горючої рідини (табл. А.2, дод. А).
5. Розрахувати площу перерізу отвору, що утворився в апараті під час аварії.
6. За встановленою формулою виконати розрахунки щодо кількості легкозаймистої рідини, яка вийде назовні під час пошкодження апарата.
7. Запропонувати заходи щодо попередження пошкодження цього апарата.

Питання для самостійної роботи

1. Дати визначення поняття «аварія», «аварійна ситуація». У чому різниця?
2. Характерні ознаки аварійних ситуацій.
3. Причини та види пошкоджень технологічного обладнання.

4. Види впливів на технологічне обладнання.

5. Заходи щодо попередження пошкоджень та руйнування технологічного обладнання.

Завдання для самостійної роботи

Підготувати для усної доповіді інформацію щодо захисту технологічного обладнання запобіжними клапанами за таким планом: мета захисту; класифікація клапанів; конструктивне виконання; вибір клапана для надійного захисту.

Лабораторна робота № 5

Визначення категорії приміщення компресорної за вибухопожежною та пожежною небезпекою

Мета: оволодіти навичками щодо кількісної оцінки пожежовибухонебезпеки виробничих об'єктів із метою визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Зміст роботи

Загальні відомості. Категорія пожежної (вибухопожежної) небезпеки – класифікаційна характеристика пожежної (вибухопожежної) небезпеки будинку (або частини будинку у межах протипожежного відсіку), приміщення, зовнішньої установки, що визначається кількістю та пожежовибухонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що знаходяться (обертаються) в них, з урахуванням особливостей технологічних процесів виробництва.

Нормативний документ. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Основні положення визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою:

1. За вибухопожежною та пожежною безпекою приміщення і будинки поділяють на категорії А, Б, В, Г та Д, а зовнішні установки – на категорії А_з, Б_з, В_з, Г_з та Д_з.

2. Категорії приміщень, будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою визначають для найбільш несприятливого щодо виникнення пожежі або вибуху періоду з огляду на: фізичний стан горючих речовин і матеріалів, які знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) в апаратах, приміщеннях та зовнішніх установках; їхню кількість; пожежовибухонебезпечні властивості та особливості технологічних процесів;

Категорію приміщень визначають шляхом перевірки належності приміщень до категорій від найбільш вибухопожежонебезпечної категорії А до найменш небезпечної категорії Д, за винятком категорії Г (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою

Категорія Приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (обертаються) у приміщенні
1	2
А Вибухопожежонебезпечна	Горючі гази (ГГ), легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище 28 °С у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа. Речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа.
Б Вибухопожежонебезпечна	Горючий пил і/або волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху вище 28 °С, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пило-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа.

Продовження таблиці 5.1

1	2
В Пожежонебезпечна	Горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини і/або матеріали (включно з горючим пилом і/або волокнами), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться, не належать до категорій А або Б, і питоме пожежне навантаження для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках ¹ площею не менше 10 м ² кожна перевищує 180 МДж/м ² .
Г Помірна пожежонебезпечна	Негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я; горючі гази, рідини і/або тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.
Д Знижена пожежонебезпечна	Речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень А, Б і В (крім горючих газів, горючого пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані, за умови, що приміщення, не належать до категорій А, Б, В.
Примітка 1. Площу окремих ділянок для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів, що складають пожежне навантаження, визначають за розмірами проєкції їхньої площі розміщення (складування), а також площі розливу під час розрахункової аварії на горизонтальну поверхню підлоги. Примітка 2. Приміщення належить до категорії В, якщо його площа не перевищує 10 м², і в ньому знаходяться (обертаються) горючі речовини і/або матеріали, що складають пожежне навантаження під час розрахункової аварії, за умови, що приміщення не належить до категорії А або Б.	

Для кожного виробничого приміщення вся процедура визначення категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою містить такі етапи:

- розрахункове визначення маси речовини, що надходить до приміщення під час розгерметизації технологічного обладнання;
- розрахункове визначення надлишкового тиску вибуху;
- висновок щодо визначення категорії приміщення.

Завдання

1. Визначити категорію приміщення компресорного цеху аміачно-холодильної установки за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Вихідні дані:

- розміри приміщення – 26 м × 9 м × 6 м;
- горюча речовина – горючий газ аміак (NH_3) у скрапленому стані;
- густина аміаку – 0,76 кг/м³;
- густина скрапленого газу за умов ведення процесу – 11,52 кг/м³;
- найбільш небезпечний апарат установки – ресивер;
- об'єм ресивера – 2,5 м³;

Порядок виконання роботи

1. Визначити вимоги ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 щодо визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою.
2. Вивчити алгоритм визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою (рис. 5.1).
3. Виконати всі етапи наведеного алгоритму (рис. 5.1).
4. Зробити висновок щодо визначення категорії приміщення за вибухопожежною та пожежною безпекою.

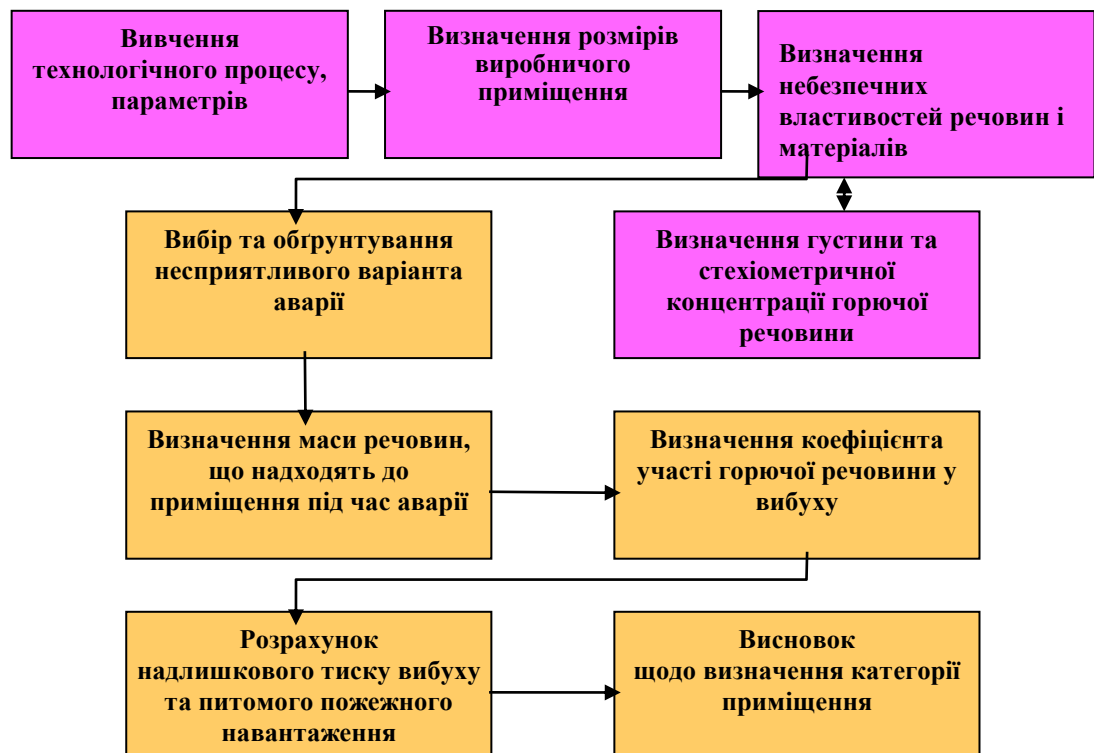


Рисунок 5.1 – Алгоритм визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою

Порядок проведення розрахунків

1. Визначити вільний об'єм приміщення згідно з вимогами (V_B , m^3) [2].

$$V_B = \frac{K_B}{100} \cdot l \cdot b \cdot h, \quad (5.1)$$

де l , b , h – довжина, ширина, висота виробничого приміщення відповідно, м;

K_B – коефіцієнт, що враховує вільний об'єм приміщення – різницю між геометричним об'ємом приміщення і об'ємом, який займає технологічне обладнання.

За неможливості визначення вільного об'єму приміщення, допускається його вважати рівним 80 % від загального об'єму приміщення.

2. Розрахувати стехіометричну концентрацію горючого газу ($C_{ст}$, % (об.)) – аміаку, що бере участь у аварії за такою формулою:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (5.2)$$

де $\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}$ – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції згоряння

(під час розрахунку β атоми азоту не враховуються);

n_c , n_H , n_o , n_x – кількість атомів С, Н, О та галогенів у молекулі ГГ або парів горючої речовини.

3. Розрахувати масу горючого газу (m , кг), що надійде до приміщення у разі повної розгерметизації ресивера для утворення пожежовибухонебезпечної газоповітряної суміші

$$m = V_a \cdot \rho_r, \quad (5.3)$$

де V_a – об'єм газу, що вийшов з апарата, m^3 ;

ρ_r – густина газу за умов ведення процесу, $кг/м^3$.

4. Визначити коефіцієнт участі горючого газу у вибуху (Z) (табл. 2) [2].

5. Розрахувати надлишковий тиск вибуху (ΔP , кПа) за такою формулою [2]:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{г,н}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (5.4)$$

де $P_{\max}$ – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші у замкненому об’ємі, який визначається дослідним шляхом або обирається за довідниковими даними. За браком таких даних, допускається обирати $P_{\max}$ рівним 900 кПа;

P_o – початковий тиск, кПа (допускається обирати таким, що дорівнює 101 кПа);

m – маса горючого газу, що потрапив у результаті розрахункової аварії до приміщення, кг;

Z – коефіцієнт участі горючого газу у вибуху (допускається обирати значення Z за табл. 2) [2];

$V_{\text{вільн}}$ – вільний об’єм приміщення, м³;

K_n – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадіабатичність процесу горіння (допускається обирати $K_n = 3$) [2].

6. За результатами розрахунків визначити категорію приміщення компресорного цеху аміачно-холодильної установки за вибухопожежною та пожежною безпекою.

Питання для самостійної роботи

1. Який нормативний документ регламентує визначення категорії приміщення за вибухопожежною та пожежною безпекою?

2. Які приміщення належать до категорій А та Б за вибухопожежною та пожежною безпекою?

3. Які приміщення належать до категорій В, Г, Д за вибухопожежною та пожежною безпекою?

4. За яким критерієм встановлюють значення категорії приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою?
5. Розрахункове визначення надлишкового тиску вибуху.

Лабораторна робота № 6

Обґрунтування протипожежної перешкоди на лінії транспортування горючого газу

Мета: оволодіти навичками вибору та розрахункового обґрунтування засобів та пристроїв щодо запобігання поширення пожежі на лініях транспортування горючих речовин.

Зміст роботи

Загальні відомості. Гідравлічні процеси пов'язані з переміщенням рідких та газоподібних матеріалів. До них належать: перекачування, транспортування, зберігання, дозування. Рушійною силою гідравлічних процесів є різниця тисків. Швидкість протікання процесу визначається законами гідродинаміки.

Типові апарати гідравлічних процесів: насоси, компресори, цистерни, резервуари, арматура, трубопроводи тощо.

Горючі речовини та матеріали: нафтопродукти, природний газ, дизельне паливо, інші горючі гази та рідини.

Рідини, що застосовують у технологічних процесах транспортують трубопроводами як усередині підприємства, так і поза ним. Транспортування рідин може проводитися самопливом або за допомогою спеціальних пристроїв – насосів.

Самопливні трубопроводи в деякі періоди роботи лише частково заповнені рідиною, тобто працюють неповним перерізом, що є їхньою характерною особливістю.

Горюче середовище в цьому випадку утворюється у вільному об'ємі трубопроводу над шаром рідини. У таких умовах пожежа, що виникає, може

поширитися на всю довжину самопливного трубопроводу і на технологічні споруди, з якими він пов'язаний.

Для стискання і транспортування горючих газів застосовують спеціальні машини, які називають компресорами. Небезпечними є лінії всмоктування компресорів, куди у випадку зниження тиску може потрапити кисень повітря, що призведе до утворення вибухонебезпечної суміші.

Пожежна небезпека експлуатації компресора полягає у виникненні джерела запалювання: теплові прояви механічної енергії (тепло удару, тертя, стискання); теплові прояви електричної енергії (коротке замикання, великий перехідний опір, перевантаження, іскріння); теплові прояви хімічної енергії (самозаймання промащених волокнистих матеріалів тощо).

Особливу небезпеку становлять процеси зберігання горючих газів та рідин в резервуарах (склади нафти та нафтопродуктів, резервуарні парки).

Пожежна небезпека резервуарів обумовлена пожежонебезпечними властивостями горючих рідин, що зберігаються, їхніми значними об'ємами, можливістю утворення пожежонебезпечної парогазоповітряної хмари, потрапляння до неї джерела запалювання. Поширення пожежі на складах нафти і нафтопродуктів відбувається насамперед по дзеркалу розлитої рідини, трубопроводам, скидним лініям, парогазоповітряній хмарі. Виникнення такої пожежі призводить до значних матеріальних збитків та загибелі людей.

Для попередження поширення пожежі на виробництві необхідно розробляти та впроваджувати такі інженерно-технічні рішення, які б дозволили обмежити кількість горючих речовин і матеріалів, що обертаються у виробництві; створити умови для швидкої евакуації матеріалів та обладнання у разі виникнення пожежі; створити перешкоди на шляхах поширення можливої пожежі і забезпечити захист апаратів від руйнування під час вибуху.

Щоб запобігти поширенню вогню по виробничих комунікаціях, застосовують різний за своїм улаштуванням захист: вогнеперешкоджувачі сухі; вогнеперешкоджувачі у вигляді гідравлічних засувки; засувки з твердих

здрібнених матеріалів; засувки і заслінки, що автоматично закриваються; водяні завіси; перемички тощо.

Вогнеперешкоджувачі сухі – це такі захисні пристрої на трубопроводах, які вільно пропускають потік рідини або газів через тверду вогнезахисну насадку, але затримують полум'я, тобто гасять його.

Принцип дії сухих вогнеперешкоджувачів заснований на гасінні полум'я у вузьких каналах, яке згідно з теорією поширення полум'я, обумовлено тепловими втратами із зони реакції до стінок каналу.

Основним розрахунковим параметром сухих вогнеперешкоджувачів є критичний діаметр його каналу – діаметр каналу насадки або отвору сітки вогнеперешкоджувача, за якого тепловиділення від суміші, що горить, буде дорівнювати тепловитратам.

Завдання

1. Визначити шляхи та умови поширення пожежі на виробництві.
2. Визначити інженерно-технічні рішення щодо запобігання поширення пожежі на виробництві.
3. Оцінити розрахунковим методом небезпеку поширення вогню по продувній лінії апарата, через яку скидається горючий газ, на якій встановлено вогнеперешкоджувач касетного типу, під час візуального огляду якого було виявлено деформацію і пошкодження деяких каналів. Небезпеки виникнення детонаційного горіння немає.

Вихідні дані:

- горючий газ, що скидається з апарата через продувну лінію – пропан (C_3H_8);
- робоча температура газу (t_p) – 40 °C;
- робочий тиск в лінії продувки (P_p) – 0,3МПа;

– фізичні властивості пропану: коефіцієнт теплопровідності (λ_r , Вт/м·К) та питома теплоємність ($C_{p,r}$, Дж/кг·К) наведені у таблиці А.3 додатка А відповідно.

Порядок виконання роботи

1. Визначити призначення та принцип дії вогнеперешкоджувача касетного типу.
2. Встановити основний розрахунковий параметр, за яким обирають вогнеперешкоджувач.
3. Проаналізувати небезпеку поширення вогню по продувній лінії, на якій встановлено вогнеперешкоджувач, що має деформацію та пошкодження деяких каналів.
4. Розрахунком обґрунтувати вибір вогнеперешкоджувача для забезпечення надійності гасіння полум'я.

Порядок проведення розрахунків

1. Записати реакцію горіння пропану



2. Визначити концентрацію пропану (ϕ_r , об. ч. або %) у вихідній суміші стехіометричного складу

$$\phi_r = \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad (6.1)$$

де $\sum_{i=1}^n n_i$ – сума компонентів горючої суміші, які беруть участь у реакції горіння.

3. Розрахувати коефіцієнт теплопровідності (λ , Вт/м·К) газоповітряної суміші за такою формулою:

$$\lambda = \phi_e \cdot \lambda_e + (1 - \phi_e) \cdot \lambda_n, \quad (6.2)$$

де $\lambda_r = 1,9 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К – коефіцієнт теплопровідності пропану (табл. А.3, дод. А);

$\lambda_n = 2,59 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К - коефіцієнт теплопровідності повітря (табл. А.3, дод. А).

4. Розрахувати питому теплоємність (C_p , Дж/кг·К) пропаноповітряної суміші за такою формулою:

$$C_p = \phi_z \cdot C_{p,z} + (1 - \phi_z) \cdot C_{p,n}, \quad (6.3)$$

де $C_{p,z} = 1\,667$ Дж/кг·К – питома теплоємність пропану (табл. А.3, дод. А);

$C_{p,n} = 1\,005$ Дж/кг·К – питома теплоємність повітря.

5. Визначити питому газову сталу (R , Дж/кг·К) горючої пропаноповітряної суміші

$$R = \frac{8\,314,31}{\phi_z \cdot M_z + (1 - \phi_z) \cdot M_n}, \text{ Дж/кг·К}, \quad (6.4)$$

де ϕ_z – розрахована концентрація пропану у суміші (об. ч.);

M_z – молекулярна маса пропану, кг/кмоль (табл. А.1, дод. А);

M_n – молекулярна маса повітря, дорівнює 29 кг/кмоль.

6. Розрахувати критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача за такою формулою:

$$d_{кр} = \frac{Pe_{кр} \cdot R \cdot (t_p + 273) \cdot \lambda}{U_n \cdot C_p \cdot P_p}, \quad (6.5)$$

де $d_{кр}$ – критичний діаметр каналів сухого вогнеперешкоджувача, м;

$Pe_{кр}$ – критичне значення числа Пекле на межі гасіння полум'я (обирають рівним 6,5);

U_n – нормальна швидкість поширення полум'я у сумішах різних парів і газів із повітрям, м/с (максимальні значення нормальної швидкості поширення полум'я у сумішах різних парів і газів з повітрям наведені в табл. А.1, дод. А);

λ – розрахований коефіцієнт теплопровідності горючої суміші, Вт/м·К;

C_p – розрахована питома теплоємність горючої суміші, Дж/кг·К;

R – розрахована питома газова стала горючої суміші, Дж/кг·К.

P_p – робочий тиск у лінії, МПа;

t_p – робоча температура газу, °С.

7. Визначення фактичного діаметра каналів вогнеперешкоджувача

$$d = 0,5d_{кр}. \quad (6.6)$$

8. Для забезпечення надійності гасіння полум'я фактичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача повинен бути менше за критичний, тобто

$$d = \frac{d_{кр}}{K_6}, \quad (6.7)$$

де $d_{кр}$ – критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача, м;

K_6 – коефіцієнт безпеки, обирають $K_6 \geq 2$.

9. За результатами розрахунків обґрунтувати запобігання поширенню полум'я по продувній лінії апарата, через яку скидається горючий газ пропан, за допомогою вогнеперешкоджувача касетного типу.

Питання для самостійної роботи

1. Які процеси належать до гідравлічних?
2. Назвати типові апарати гідравлічних процесів.
3. У чому полягає пожежна небезпека під час експлуатації компресорів?
4. У чому полягає протипожежний захист виробничих комунікацій?
5. Принцип дії сухих вогнеперешкоджувачів.
6. Основний розрахунковий параметр сухих вогнеперешкоджувачів.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ДО ТРЕТЬОГО ЗМІСТОВОГО МОДУЛЮ

Лабораторна робота № 7

Визначення критичного часу розвитку пожежі

для перебування людей у приміщенні

Мета: отримати навички щодо визначення закономірностей газообміну та критичного часу розвитку пожежі в огороженні з метою обґрунтування часу евакуації людей під час пожежі.

Зміст роботи

Загальні відомості. Щорічно в Україні виникає понад 60 тис. пожеж. Більшість з них трапляється у житловому секторі (80 %), однак найбільших збитків та матеріальних втрат завдають пожежі на промислових підприємствах, яких щорічно виникає понад 2 тисячі.

Величезні збитки від цих пожеж (близько 42 % від загальної кількості) обумовлені значним часом вільного розвитку пожежі, адже середньостатистичний час прибуття підрозділів до місця виклику по Україні становить понад 30 хв (наприклад, у Німеччині вказаний час становить 12,5 хв, у Словаччині – 15–20 хв).

Найсуттєвішими факторами, які створюють загрозу для життя та здоров'я людини, яка перебуває в зоні пожежі, є: токсичні продукти горіння; вогонь та променисті потоки; підвищена температура середовища; дим; недостатність (знижена концентрація) кисню; вибухи та викиди небезпечних речовин.

Концентрація отруйних речовин у перші хвилини пожежі може досягати вище граничної в 12–100 разів. Швидкість поширення диму та отруйних речовин досить велика (до 20 м/хв по вертикалі).

Відомо, що для комфортного існування людина має дихати повітрям, що складається з 21,5 % кисню і 0,03–0,04 % вуглекислого газу.

За умовами газообміну пожежі поділяють на дві групи: пожежі на відкритому просторі; пожежі в огороженні.

Пожежі на відкритому просторі характеризуються вільним газообміном із навколишнім середовищем, що зумовлює високу швидкість протікання процесів горіння. При цьому теплообмін здійснюється насамперед конвекцією та випромінюванням.

Пожежі в огороженні характеризуються тим, що газообмін обмежений будівельними конструкціями. При цьому відбувається накопичення тепла та

диму, теплообмін здійснюється конвекцією, теплопровідністю та випромінюванням.

Особливо небезпечними є пожежі в приміщеннях, будівлях, спорудах тобто в огороженні, оскільки вони розвиваються в часі і просторі та супроводжуються складними фізико-хімічними процесами, які містять, крім горіння, явища масо- і теплообміну.

Найголовнішими параметрами пожежі в приміщенні, які змінюються з часом, є *площа пожежі, температура пожежі, інтенсивність задимлення на пожежі*.

Оскільки під час пожежі в огороженні газообмін обмежений будівельними конструкціями, зона задимлення з часом збільшується і за певних умов поширюється на сусідні приміщення.

Для забезпечення евакуації людей у разі виникнення пожежі чи подачі перших стволів на її гасіння важливим є дослідження закономірностей газообміну в приміщенні під час пожежі, результати яких дозволяють визначити нормативний час початку виконання дій із рятування людей на пожежі.

Із розвитком пожежі в огороженні настає момент, коли все приміщення буде в зоні задимлення або теплового впливу, отже, перебування людей стає неможливим. Такий час називають критичним часом розвитку пожежі.

Критичний час розвитку пожежі для перебування людей у приміщенні визначається досягненням критичної температури (70 °C) та зниженням концентрації кисню у повітрі приміщення до критичного значення.

Відомо, що за зниження концентрації кисню в повітрі до 17 % відбувається втрата свідомості, за зниження концентрації нижче 14–15 % в організмі людини настають незворотні процеси, і може наступити смерть.

Тому необхідність розрахунку критичного часу пожежі є важливою для розв'язання задачі забезпечення евакуації людей у разі виникнення пожежі чи подачі перших стволів на її гасіння.

Завдання

1. Визначити закономірності газообміну під час пожежі в огороженні.
2. Визначити фактори, які створюють загрозу для життя та здоров'я людини, яка перебуває в зоні пожежі.
3. Визначити критичне значення температури та концентрації кисню в повітрі приміщення, в якому перебуває людина під час пожежі.
4. Розрахувати критичний час розвитку пожежі в приміщенні за температурою та киснем.
5. Сформулювати основні напрями регулювання газообміну пожежі в огороженні.

Вихідні дані:

- пожежа у центрі виробничого приміщення;
- розміри приміщення – $10 \text{ м} \times 12 \text{ м} \times 3,5 \text{ м}$;
- горюча речовина – поліпропілен;
- масова теплота згоряння поліпропілену – $45\,600 \text{ кДж/кг}$;
- коефіцієнт повноти згоряння – $0,85$;
- масова швидкість вигорання горючої речовини – $0,87 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{хв}^{-1}$;
- лінійна швидкість поширення полум'я – $0,6 \text{ м/хв}$;
- витрата повітря для повного згорання – $11,42 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Порядок виконання роботи

1. Визначити небезпечні чинники пожежі під час загоряння поліпропілену.
2. Визначити об'єм приміщення, де сталася пожежа.
3. Визначити осередок виникнення пожежі.
4. Визначити форму розвитку пожежі.

5. Обрати розрахункову формулу для визначення критичного часу розвитку пожежі за температурою залежно від форми розвитку пожежі.

6. Розрахувати критичний час розвитку пожежі за температурою та киснем.

7. Зробити висновок про час евакуації людей із приміщення під час пожежі.

Порядок проведення розрахунків

1. Розрахувати об'єм виробничого приміщення ($V_{\text{прим}}$, м³)

$$V_{\text{прим}} = l \cdot b \cdot h, \quad (7.1)$$

де l , b , h – довжина, ширина та висота виробничого приміщення відповідно, м.

2. Визначити осередок виникнення та форму розвитку пожежі з умови задачі.

3. Залежно від форми розвитку пожежі обрати розрахункову формулу для визначення критичного часу ($\tau_{\text{кр}}^t$, хв) розвитку пожежі за температурою.

$$\tau_{\text{кр}}^t = 4,53 \sqrt{\frac{V_{\text{прим}}}{\eta \cdot Q_{\text{н}}' v_{\text{м}} (V_1^0)^2}}, \quad (7.2)$$

$$\tau_{\text{кр}}^t = 5,653 \sqrt{\frac{V_{\text{прим}}}{\eta \cdot Q_{\text{н}}' v_{\text{м}} (V_1^0)^2}}, \quad (7.3)$$

$$\tau_{\text{кр}}^t = 7,123 \sqrt{\frac{V_{\text{прим}}}{\eta \cdot Q_{\text{н}}' v_{\text{м}} (V_1^0)^2}}, \quad (7.4)$$

де $V_{\text{м}}$ – масова швидкість вигорання горючої речовини, (кг·м²хв⁻¹);

η – коефіцієнт повноти згоряння;

$V_{\text{прим}}$ – повний об'єм приміщення, м³;

$Q_{\text{н}}'$ – масова теплота згоряння, кДж/кг;

$\tau_{\text{кр}}$ – критичний час розвитку пожежі, хв;

v_1^0 – лінійна швидкість поширення полум'я, м/хв.

4. Розрахувати критичний час розвитку пожежі за температурою.
5. Визначити критичне значення температури, яке настане через розрахований критичний час для перебування людей у приміщенні.
6. Розрахувати критичний час розвитку пожежі за киснем ($\tau_{кр}^0$, хв) за такою формулою:

$$\tau_{кр}^0 = 7,123 \sqrt{\frac{V_{прим}}{\eta \cdot v_{п}^0 \cdot v_{м} \cdot (v_l^0)^2}}, \quad (7.5)$$

де $V_{м}$ – масова швидкість вигорання горючої речовини, (кг·м²хв⁻¹);

η – коефіцієнт повноти згоряння;

$V_{прим}$ – повний об'єм приміщення, м³;

$\tau_{кр}$ – критичний час розвитку пожежі, хв;

v_l^0 – лінійна швидкість поширення полум'я, м/хв.;

$v_{п}^0$ – витрата повітря до повного згоряння, м³/кг.

8. Назвати критичне значення кисню, яке настане через розрахований критичний час для перебування людей у приміщенні.
9. Зробити висновок про час евакуації людей із приміщення під час пожежі.

Питання для самостійної роботи

1. Класифікація пожеж за умовами газообміну.
2. Яким чином характеризують пожежі у відкритому просторі?
3. Яким чином характеризують пожежі в огороженні?
4. Назвати основні параметри пожежі в приміщенні, які змінюються в часі.
5. Якими критичним параметрами характеризується критичний час розвитку пожежі?

Лабораторна робота № 8

Визначення безпечних параметрів роботи в засобах індивідуального захисту органів дихання у задимленому середовищі

Мета: оволодіти розрахунковими методами визначення параметрів безпечної роботи газодимозахисної служби в засобах індивідуального захисту органів дихання у задимленому середовищі.

Зміст роботи

Загальні відомості. Під час ліквідації надзвичайних ситуацій та їхніх наслідків, рятування людей, евакуації матеріальних цінностей часто доводиться працювати у загазованих і задимлених середовищах, небезпечних для життя.

Для організації безпечної роботи у таких середовищах у підрозділах Державної служби надзвичайних ситуацій України (ДСНС) створена спеціальна газодимозахисна служба (ГДЗС).

Газодимозахисна служба – це служба, яка утворюється в органах та підрозділах ДСНС і призначена для організації оперативних дій у непридатному для дихання середовищі під час ліквідації наслідків небезпечних подій.

Основним завданням ГДЗС є забезпечення безпечної роботи газодимозахисників у загазованих і задимлених середовищах з метою проведення розвідки під час гасіння пожеж, ліквідації надзвичайних ситуацій та їхніх наслідків, рятування людей і евакуації матеріальних цінностей.

Первинною тактичною одиницею газодимозахисної служби є ланка ГДЗС, яка утворюється не менше як із трьох газодимозахисників, враховуючи командира ланки.

Складність та небезпечність робіт, що виконують підрозділи оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час проведення

розвідки та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у непридатних для дихання умовах, обумовлює застосування комплексу засобів індивідуального захисту органів дихання та зору (ЗІЗОД), спеціального захисного одягу та спорядження рятувальників.

У підрозділах ДСНС України здебільшого використовуються апарати на стисненому повітрі (резервуарні дихальні апарати). Дихання в резервуарних апаратах здійснюється за відкритою схемою: стиснуте повітря надходить у легені людини через легеневий автомат, а видих відбувається безпосередньо в атмосферу.

Апарати цього виду відрізняються між собою лише зовнішнім оформленням і конструктивними особливостями окремих вузлів. Основними частинами резервуарних апаратів є балони стисненого повітря, дихальний (легеневий) автомат, редуктор, прилади контролю за витратою повітря, каркас для кріплення і монтажу частин апарата. За кількістю балонів резервуарні апарати поділяються на одно- та двобалонні. Балони апаратів слугують резервуарами для стисненого повітря, яке використовується для дихання. В апаратах застосовуються малолітражні балони ємністю 1–12 літрів із робочим тиском 20–30 МПа (200–300 бар).

Ці апарати мають такі переваги:

- високий ступінь надійності;
- простота конструкції;
- низька температура повітря, яке надходить на вдих;
- незначний опір під час вдиху;
- під час використання цих апаратів немає небезпеки кисневого голодування через заазотування системи апарата, як це відбувається в апаратах із замкненою схемою дихання, й отруєння вуглекислим газом;
- можлива робота в середовищах, що містять легкозаймисті й вибухові речовини, тому що немає небезпечного для мастил та інших речовин

чистого кисню; газова суміш, яка використовується для дихання, має нормальний вміст кисню (21 %) і вологи.

Серед поширених апаратів, що застосовуються в підрозділах ДСНС України необхідно відмітити апарат АСВ-2 із двома балонами зі стисненим повітрям та захисні дихальні апарати типу Dräger, що призначені для роботи в непридатному для дихання середовищі.

Безпека роботи в апаратах індивідуального захисту залежить від дотримання вимог до обслуговування цих апаратів. Апарати проходять щорічне технічне обслуговування, щорічну перевірку, перевірки перед виконанням робіт тощо.

Серед загальних обов'язків особового складу газодимозахисної служби оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС України одним із найбільш важливих є вміння виконувати розрахунок часу, який можна витратити на виконання оперативної роботи у непридатному для дихання середовищі.

Основними показниками, які враховуються під час розрахунків часу роботи у задимлених середовищах, є:

- контрольний тиск повітря (кисню) в ЗІЗОД, за якого ланці ГДЗС необхідно виходити на свіже повітря;
- час роботи ланки ГДЗС у загазованих і задимлених середовищах;
- очікуваний час повернення ланки ГДЗС на свіже повітря.

Запас повітря (кисню) на зворотній шлях є основним параметром, що визначає безпечну межу роботи ланки ГДЗС у небезпечному середовищі.

Якщо в балоні (балонах) ізолюючого апарата одного з газодимозахисників ланки ГДЗС, тиск повітря (кисню) зменшиться до розрахованого тиску, якого вистачить тільки на зворотній шлях, ланка ГДЗС негайно повертається з небезпечної зони.

Розрахунок тиску повітря на зворотний шлях повинні вміти виконувати всі газодимозахисники.

Під час роботи ланки ГДЗС розрахунок виконують по апарату газодимозахисника, який витратив найбільшу кількість повітря (кисню) на шлях до місця пожежі або по апарату газодимозахисника з найменшим запасом повітря. Розрахунок виконується командиром ланки і постовим на посту безпеки.

Тиск резерву повітря ($P_{рез.}$) (за якого спрацьовує звуковий сигнал або вмикач резерву), визначений виробником апарата залежно від типу. Обрано: $P_{рез.} = 3$ МПа – для апарата АСВ-2; $P_{рез.} = 5$ МПа – для всіх інших апаратів; для закордонних апаратів – 50 бар. Середнє значення витрати повітря в апараті для всіх апаратів на стисненому повітрі (АСП), крім АСП-2 обирається рівним 7, а для АСП-2 – 5.

Під час гасіння пожежі, ланка ГДЗС може виконувати роботи в небезпечній зоні:

- у звичайних умовах із середнім навантаженням;
- у важких умовах із тяжким навантаженням.

Умови роботи повинні враховуватись тільки під час визначення контрольного тиску виходу ланки ГДЗС із небезпечної зони.

Завдання

1. Визначити основні показники, які враховуються під час розрахунків часу роботи у задимлених середовищах.
2. Встановити параметр, що визначає безпечну межу роботи ланки ГДЗС у небезпечному середовищі.
3. Розрахувати контрольний тиск повітря у ЗІЗОД для виходу ланки ГДЗС із задимленого середовища у звичайних умовах із середнім навантаженням та у важких умовах із тяжким навантаженням.
4. Визначити час роботи ланки ГДЗС у загазованих і задимлених середовищах.
5. Розрахувати очікуваний час повернення ланки ГДЗС на свіже повітря.

Вихідні дані:

- у задимленому середовищі працює ланка ГДЗС;
- ЗІЗОД, що використовує ланка ГДЗС для роботи – захисні дихальні апарати типу Dräger;
- час підключення газодимозахисників до апаратів – 14 год 15 хв;
- тиск повітря в ЗІЗОД під час підключення – 270 бар;
- тиск повітря під час входження у задимлену зону – 240 бар.

Порядок виконання роботи

1. Визначити, на скільки зменшився тиск у кожному апараті за час руху до місця роботи.
2. Визначити тиск резерву повітря (за якого спрацьовує звуковий сигнал або вмикач резерву), визначений виробником апарата типу Dräger.
3. Розрахувати контрольний тиск (тиск виходу), за якого необхідно почати повернення ланки ГДЗС на свіже повітря у звичайних умовах із середнім навантаженням.
4. Розрахувати контрольний тиск (тиск виходу), за якого необхідно почати повернення ланки ГДЗС на свіже повітря у важких умовах із тяжким навантаженням.
5. Визначити розрахунковий (середній) час роботи ланки ГДЗС, яка працює в апаратах на стисненому повітрі в задимленому середовищі.
6. Визначити час (контрольний), за яким ланка ГДЗС повинна повернутися із задимленого середовища.

Порядок проведення розрахунків

1. Визначення, на скільки зменшився тиск ($P_{\text{вх}}$) у кожному апараті за час руху до місця роботи.

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{поч}} - P_{\text{поч.р.}}, \quad (8.1)$$

де $P_{\text{вх}}$ – величина, на яку зменшився тиск за час руху до місця роботи, бар;

$P_{\text{поч.р.}}$ – тиск перед початком роботи в осередку надзвичайної ситуації, бар;

$P_{\text{поч.}}$ – початковий тиск (мінімальний тиск, який був в апаратах ланки ГДЗС у момент увімкнення), бар.

2. Розрахунок мінімального (контрольного) тиску повітря (кисню) в ЗІЗОД, за якого ланці ГДЗС під час роботи з середнім навантаженням необхідно негайно виходити з небезпечної зони на чисте повітря.

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх.}} + P_{\text{рез.}}, \quad (8.2)$$

де $P_{\text{вих.}}$ – контрольний тиск (тиск виходу), за якого необхідно почати повернення на свіже повітря, бар;

$P_{\text{рез.}}$ – тиск резерву повітря (за якого спрацьовує звуковий сигнал або вмикач резерву), визначений виробником апарата, бар.

3. Розрахунок мінімального (контрольного) тиску повітря (кисню) в ЗІЗОД, за якого ланці ГДЗС під час роботи з важким навантаженням необхідно негайно виходити з небезпечної зони на чисте повітря:

$$P_{\text{вих}} = 2P_{\text{вх.}} + P_{\text{рез.}}. \quad (8.3)$$

4. Розрахунок (середнього) часу роботи ланки ГДЗС, яка працює в апаратах на стисненому повітрі в задимленому середовищі:

$$\tau_{\text{роб.}} = \frac{P_{\text{поч.}} - P_{\text{рез.}}}{7(5)}, \quad (8.4)$$

де $\tau_{\text{роб.}}$ – середнє значення часу роботи ланки ГДЗС у задимленому приміщенні, хв;

7(5) – середнє значення витрати повітря в апараті для АСП.

5. Розрахунок часу (контрольного), за якого ланка ГДЗС повинна повернутися із задимленого середовища.

$$\tau_{\text{пов}} = \tau_{\text{поч.р.}} + \tau_{\text{роб.}}, \quad (8.5)$$

де $\tau_{\text{поч.р.}}$ – час перед початком роботи (з моменту ввімкнення апарата), хв;

$\tau_{\text{роб.}}$ – середнє значення часу роботи ланки ГДЗС у задимленому приміщенні, хв.

Питання для самостійної роботи

1. Хто організовує та виконує роботи у загазованих і задимлених середовищах під час ліквідації надзвичайних ситуацій?
2. Які ЗІЗОД застосовуються рятувальниками під час ліквідації надзвичайних ситуацій у загазованих та задимлених середовищах?
3. Назвати обов'язкові показники, які враховуються під час розрахунків часу роботи у задимлених середовищах.
4. Під час розрахунку якого параметра враховуються умови роботи ланки ГДЗС у задимленому середовищі?
5. За яким апаратом ЗІЗОД ланки ГДЗС проводять розрахунок? Хто здійснює розрахунки?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2020–01–01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_8828_2019.pdf, вільний (дата звернення: 03.03.2025). – Назва з екрана.
2. ДСТУ Б В.1.1–36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2017–01–01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759, вільний (дата звернення: 09.12.2025). – Назва з екрана.
3. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2020–01–01. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>, вільний (дата звернення: 14.07.2025). – Назва з екрана.
4. Наказ МВС України № 1417 від 30.12.2014. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні [Електрон. ресурс]. – Чинний від 2015–03–05. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>, вільний (дата звернення: 08.10.2025). – Назва з екрана.
5. Михайлюк О. П. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів [Електрон. ресурс] : підручник / О. П. Михайлюк, В. В. Олійник, Г. О. Мозговий. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНАДУ, 2014. – 380 с. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/4655/1/%d0%9f%d1%96%d0%b4%d1%80%d1%83%d1%87%d0%bd%d0%b8%d0%ba%20%d0%a2%d0%9e%d0%9f%d0%9f%d0%a2%d0%9f%202014.pdf>, вільний (дата звернення: 15.11.2025). – Назва з екрана.

6. Михайлюк О. П. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів [Електрон. ресурс] : практикум / О. П. Михайлюк, В. В. Олійник, В. М. Сирих. – Електрон. текст. дані. – Харків : НУЦЗУ, ФОП Панов А. М., 2016. – 198 с. – Режим доступу: [ISBN 978-617-7474-33-2](https://nuczu.org.ua/ua/works/978-617-7474-33-2), вільний (дата звернення: 31.03.2025). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Показники пожежної небезпеки деяких горючих речовин

Речовина (клас)	М, кг/кмоль	t _{сп} , °C	t _{ссп} , °C	ТМПП, °C		КМПП, об. ч.		W _{min} , мДж	D _o · 10 ⁶ , м ² /с	п	U _н , м/с	ГДК** мг/м ³
				нижн.	верх.	нижн.	верх.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Аміак (ГГ)	17,03	–	650	–	–	0,15	0,28	680	19,8	1,88	0,23	20
Ацетилен (ГГ)*	26,04	–	335	–	–	0,025	0,81	–	14,0	1,79	1,57	–
Ацетон (ЛЗР)	58,08	–18	535	–20	6	0,027	0,13	0,41	10,9	1,90	0,44	200
Бензол (ЛЗР)	78,11	–11	560	–14	13	0,014 3	0,8	0,22	7,75	1,86	0,478	5
н-Бутан (ГГ)	58,12	–	405	–	–	0,018	0,091	0,25	6,05	1,87	0,45	–
н-Бутилацетат (ЛЗР)	116,16	29	330	22	61	0,013 5	0,09	–	6,6	1,87	0,4	200
н-Бутиловий спирт (ЛЗР)	74,12	35	340	34	67	0,018	0,109	0,28	8,1	1,86	0,3	10
Водень (ГГ)	2,016	–	510	–	–	0,041 2	0,75	0,017	68,0	1,70	2,70	–
н-Гексадекан (ГР)	226,44	128	207	126	–	0,004 7	–	–	3,47	1,86	0,4	–
н-Гексан (ЛЗР)	86,18	–23	233	–26	4	0,012 4	0,075	0,25	6,63	1,55	0,385	180
н-Гептан (ЛЗР)	100,2	–4	223	–7	26	0,010 7	0,067	0,24	6,09	1,54	0,424	2 000
н-Декан (ЛЗР)	142,28	47	230	46	87	0,007	0,051	–	5,02	1,45	0,42	–
Діетиловий ефір (ЛЗР)	74,12	–41	180	–44	16	0,017	0,49	0,2	7,72	2,14	0,49	300
н-Додекан (ГР)	170,34	77	202	76	120	0,006 8	0,048	–	3,99	1,88	0,4	–
Ізобутиловий спирт (ЛЗР)	74,12	28	390	26	60	0,018	0,114	–	8,4	1,87	0,3	10
Ізооктан (ЛЗР)	114,23	10	411	–	–	0,009	0,058	1,35	5,03	1,77	0,49	100
Ізопропілбензол (ЛЗР)	120,19	37	424	37	74	0,008 8	0,06	–	6,15	1,87	0,4	50
Ізопропіловий спирт (ЛЗР)	60,1	14	430	11	42	0,022 3	0,127	0,65	9,5	1,92	0,415	10
н-Ксилол (ЛЗР)	106,17	26	528	24	58	0,011	0,065	84,5	5,7	1,87	0,35	50
Метан (ГГ)	16,04	–	537	–	–	0,052 8	0,141	0,28	19,6	1,76	0,338	–
Метиловий спирт (ЛЗР)	32,04	6	440	5	39	0,069 8	0,355	0,14	16,2	2,08	0,572	5
Метилетилкетон (ЛЗР)	72,11	–6	514	–11	20	0,019	0,10	–	7,6	1,86	0,3	200
н-Нонан (ЛЗР)	128,26	31	205	31	68	0,007 8	–	–	4,99	1,57	0,4	–
Оксид вуглецю (ГГ)	28,01	–14	605	–13	–49	0,125	0,74	–	14,9	1,72	0,45	20
н-Октан (ЛЗР)	114,23	–	215	–	–	0,009	0,062	–	5,03	1,77	0,4	2 350

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пентадекан (ГР)	212,42	115	203	114	163	0,005	0,041	–	3,58	1,90	0,4	–
н-Пентан (ЛЗР)	72,15	–44	286	–48	–23	0,014 7	0,077	0,22	7,29	1,83	0,385	2 350
Пропан (ГГ)	44,1	–	470	–	–	0,023	0,094	0,25	9,77	1,80	0,39	1 800
н-Пропіловий спирт (ЛЗР)	60,1	29	371	21	55	0,023	0,136	–	8,03	1,88	0,4	10
Сірководень (ГГ)	34,08	–	246	–	–	0,043	0,46	0,068	14,1	1,82	0,41	10
Сірковуглець (ЛЗР)	76,14	–43	102	–50	26	0,01	0,5	0,009	8,9	1,69	0,59	10
Стирол (ЛЗР)	104,14	37	490	27	67	0,011	0,072	0,99	6,74	1,88	0,57	5
н-Тетрадекан (ГР)	198,39	103	201	103	149	0,005	0,043	–	3,70	1,89	0,4	–
Толуол (ЛЗР)	92,14	7	535	6	37	0,012 7	0,068	0,26	7,53	1,65	0,388	50
н-Тридекан (ГР)	184,36	90	204	90	135	0,005 8	0,046	–	3,84	1,89	0,4	–
Оцтова кислота (ЛЗР)	60,05	54	465	35	76	0,04	0,19	–	10,7	1,90	0,4	5
н-Ундекан (ГР)	156,31	62	205	62	104	0,006	0,051	–	4,17	1,88	0,403	–
Хлорбензол (ЛЗР)	112,56	29	637	28	62	0,014	0,098	–	6,28	2,09	0,3	50
Циклогексан (ЛЗР)	84,16	–17	259	–17	20	0,013	0,078	0,22	6,46	1,89	0,436	80
Етан (ГГ)	30,07	–	515	–	–	0,029	0,15	0,24	12,1	1,78	0,476	–
Етилацетат (ЛЗР)	88,1	–3	446	–6	28	0,02	0,114	0,282	8,2	1,89	0,39	200
Етилбензол (ЛЗР)	106,16	24	431	20	59	0,01	0,068	0,2	5,7	1,87	0,4	1
Етилен (ГГ)*	28,05	–	435	–	–	0,027	0,34	0,12	10,9	1,80	0,735	–
Етиловий спирт (ЛЗР)	46,07	16	400	11	41	0,036	0,177	0,246	13,2	1,51	0,556	1 000
Етилцеллозольв (ЛЗР)	90,1	52	235	39	81	0,018	0,157	0,15	7,21	1,86	0,474	–
Бензин АІ-92 «І» (ЛЗР)	98,2	–37	380	–37	–10	0,009 8	0,055	0,3	6,15	2,0	0,44	100
Дизельне пальне «І» (ГР)	203,6	65	210	58	108	0,005	0,062	–	4,81	2,0	0,4	–
Гас КО-22 (ЛЗР)	153,1	50	245	43	82	0,007	0,068	–	1,95	2,0	0,4	–
Уайт-спіріт (ЛЗР)	147,3	43	250	33	68	0,007	0,056	0,33	4,97	2,0	0,52	–

Таблиця А.2 – Показники пожежної небезпеки деяких горючих рідин речовин

Речовина	Хімічна формула	Молярна маса, кг/кмоль	Температура спалаху, °C	Температура самоспалахування, °C	Константи рівняння Антуана			Нижня концентраційна межа поширення полум'я, % (об.)	Теплота згоряння, кДж/кг
					A	B	Ca		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амілацетат	$C_7H_{14}O_2$	130,196	+43	+290	6,293 50	1 579,510	221,365	1,08	29 879
Амилен	C_5H_{10}	70,134	<-18	+273	5,910 48	1 014,294	229,783	1,49	45 017
н-Аміловий спирт	$C_5H_{12}O$	88,149	+48	+300	6,307 3	1 287,625	161,330	1,46	38 385
Аміак	NH_3	17,03	—	+650	—	—	—	15,0	18 585
Анілін	C_6H_7N	93,128	+73	+617	6,046 22	1 457,02	176,195	1,3	32 386
Ацетальдегід	C_2H_4O	44,053	-40	+172	6,316 53	1 093,537	233,413	4,12	27 071
Ацетилен	C_2H_2	26,038	—	+335	—	—	—	2,5	49 965
Ацетон	C_3H_6O	58,08	-18	+535	6,375 51	1 281,721	237,086	2,7	31 360
Бензиловий спирт	C_7H_8O	108,15	+90	+415	—	—	—	1,3	—
Бензол	C_6H_6	78,113	-11	+560	5,613 91	902,275	178,099	1,43	40 576
1,3-Бутадієн	C_4H_6	54,091	—	+430	—	—	—	2,0	44 573
н-Бутан	C_4H_{10}	58,123	-69	+405	6,005 25	968,098	242,555	1,8	45 713
1-Бутен	C_4H_8	56,107	—	+384	—	—	—	1,6	45 317
н-Бутилацетат	$C_6H_{12}O_2$	116,16	+29	+330	6,252 05	1 430,418	210,745	1,35	28 280
н-Бутиловий спирт	$C_4H_{10}O$	74,122	+35	+340	8,722 32	2 664,684	279,638	1,8	36 805
Вінілхлорид	C_2H_3Cl	62,499	—	+470	6,0161	905,008	239,475	3,6	18 496
Водень	H_2	2,016	—	+510	—	—	—	4,12	119 841
н-Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	226,44	+128	+207	5,912 42	1 656,405	136,869	0,47	44 312
н-Гексан	C_6H_{14}	86,177	-23	+233	5,995 17	1 166,274	223,661	1,24	45 105
н-Гексиловий спирт	$C_6H_{14}O$	102,17	+60	+285	6,178 94	1 293,831	152,631	1,2	39 587

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гептан	C_7H_{16}	100,203	-4	+223	6,076 47	1 295,405	219,819	1,07	44 919
Гідразін	N_2H_4	32,045	+38	+132	7,998 05	2 266,447	266,316	4,7	14 644
Гліцерин	$C_2H_8O_3$	92,1	+198	+400	8,177 393	3 074,220	214,712	2,6	16 102
Декан	$C_{10}H_{22}$	142,28	+47	+230	6,520 23	1 809,975	227,700	0,7	44 602
Дивініловий ефір	C_4H_6O	70,1	-30	+360	—	—	—	1,7	32 610
N, N-Диметилформамід	C_3H_7ON	73,1	+53	+440	6,159 39	1 482,985	204,342	2,35	—
1,4-Діоксан	$C_4H_8O_2$	88,1	+11	+375	6 640 91	1 632,425	250,725	2,0	—
1,2-Дихлоретан	$C_2H_4Cl_2$	98,96	+9	+413	6,786 15	1 640,179	259,715	6,2	10 873
Диетиламін	$C_4H_{11}N$	73,14	-14	+310	6,347 94	1 267,557	236,329	1,78	34 876
Диетиловий ефір	$C_4H_{10}O$	74,12	-41	+180	6,122 70	1 098,945	232,372	1,7	34 147
н-Додекан	$C_{12}H_{26}$	170,337	+77	+202	7,295 74	2 463,739	253,884	0,63	44 470
Ізобутан	C_4H_{10}	58,123	-76	+462	5,953 18	916,054	243,783	1,81	45 578
Ізобутилен	C_4H_8	56,11	—	+465	—	—	—	1,78	45 928
Ізобутиловий спирт	$C_4H_{10}O$	74,12	+28	+390	7,830 05	2 058,392	245,642	1,8	36 743
Ізопентан	C_5H_{12}	72,15	-52	+432	5,917 99	1 022,551	233,493	1,36	45 239
Ізопропилбензол	C_9H_{12}	120,20	+37	+424	6,067 56	1 461,643	207,56	0,88	46 663
Ізопропіловий спирт	C_3H_8	60,09	+14	+430	7,510 55	1 733,00	232,380	2,23	34 139
м-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+28	+530	6,133 29	1 461,925	215,073	1,1	52 829
о-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+31	+460	6,288 93	1 575,114	223,579	1,0	41 217
п-Ксилол	C_8H_{10}	106,17	+26	+528	6,254 85	1 537,082	223,608	1,1	41 207
Метан	CH_4	16,04	—	+537	5,689 23	380,224	264,804	5,28	50 000
Метиловий спирт	CH_4O	32,04	+6	+440	7,352 7	1 660,454	245,818	6,98	23 839
Метилпропилкетон	$C_5H_{10}O$	86,133	+6	+452	6,989 13	1 870,4	273,2	1,49	33 879
Метилетилкетон	C_4H_8O	72,107	-6	+514	7,024 53	1 292,791	232,340	1,90	—
Нафталін	$C_{10}H_8$	128,06	+80	+520	9,679 44	3 123,337	243,569	0,9	39 435
н-Нонан	C_9H_{20}	128,257	+31	+205	6,177 76	1 510,695	211,502	0,78	44 684
Оксид вуглецю	CO	28,01	—	+605	—	—	—	12,5	10 104
Оксид етилену	C_2H_4O	44,05	-18	+430	—	—	—	3,2	27 696
Н-Октан	C_8H_{18}	114,230	+14	+215	6,09396	1 379,556	211,896	0,9	44 787

Закінчення таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Н–Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	212,42	+115	+203	6,0673	1 739,084	157,545	0,5	44 342
Н–Пентан	C_5H_{12}	72,150	–44	+286	5,972 08	1 062,555	231,805	1,47	45 350
г–Піколін	C_6H_7N	93,128	+39	+578	6,443 82	1 632,315	244,787	1,4	36 702
Піридин	C_5H_5N	79,10	+20	+530	5,916 84	1 217,730	196,342	1,8	35 676
Пропан	C_3H_8	44,096	–96	+470	5,955 47	813,864	248,116	2,3	46 353
Пропилен	C_3H_6	42,080	–	+455	5,948 52	786,532	247,243	2,4	45 604
н–Пропиловий спирт	C_3H_8O	60,09	+23	+371	7,442 01	1 751,981	225,125	2,3	34 405
Сірководень	H_2S	34,076	–	+246	–	–	–	4,3	–
Сірковуглець	CS_2	76,14	–43	+102	6,125 37	1 202,471	245,616	1,0	14 020
Стирол	C_8H_8	104,14	+30	+490	7,065 42	2 113,057	272,986	1,1	43 888
Тетрагідрофуран	C_4H_8O	72,1	–20	+250	6,120 08	1 202,29	226,254	1,8	34 730
н–Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	198,39	+103	+201	6,400 07	1 950,497	190,513	0,5	44 377
Толуол	C_7H_8	92,140	+7	+535	6,0507	1 328,171	217,713	1,27	40 936
н–Тридекан	$C_{13}H_{28}$	184,36	+90	+204	7,093 88	2 468,910	250,310	0,58	44 424
2,2,4–Триметилпентан	C_8H_{18}	114,230	–4	+411	5,936 82	1 257,84	220,735	1,0	44 647
Оцтова кислота	$C_2H_4O_2$	60,05	+54	+465	7,103 37	1 906,53	255,973	4,0	13 097
н–Ундекан	$C_{11}H_{24}$	156,31	+62	+205	6,805 01	2 102,959	242,574	0,6	44 527
Формальдегід	CH_2O	30,03	–	+430	5,409 73	607,399	197,626	7,0	19 007
Фталевий ангідрид	$C_8H_4O_3$	148,1	+153	+580	7,124 39	2 879,067	277,501	1,7	–
Хлорбензол	C_6H_5Cl	112,56	+29	+637	6,386 05	1 607,316	235,351	1,4	27 315
Хлоретан	C_2H_5Cl	64,51	–50	+510	6,111 40	1 030,007	238,612	3,8	19 392
Циклогексан	C_6H_{12}	84,16	–17	+259	5,969 91	1 203,526	222,863	1,3	43 833
Етан	C_2H_6	30,069	–	+515	–	–	–	2,9	52 413
Етилацетат	$C_4H_8O_2$	88,10	–3	+446	6,226 72	1 244,951	217,881	2,0	23 587
Етилбензол	C_8H_{10}	106,16	+20	+431	6,358 79	1 590,660	229,581	1,0	41 323
Етилен	C_2H_4	28,05	–	+435	–	–	–	2,7	46 988
Етиленгліколь	$C_2H_6O_2$	62,068	+111	+412	8,137 54	2 753,183	252,009	4,29	19 329
Етиловий спирт	C_2H_6O	46,07	+13	+400	7,811 58	1 918,508	252,125	3,6	30 562
Етилцелозольв	$C_4H_{10}O_2$	90,1	+40	+235	7,866 26	2 392,56	273,15	1,8	26 382

Таблиця А.3 – Фізичні властивості деяких горючих газів за атмосферного тиску ($1 \cdot 10^5$ Па)

Речовина	C_p , кДж/(кг·К) (у разі 20 °С)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К) (при 20°С)	$t_{\text{кип}}$, °С	$\mu \cdot 10^6$, Па·с (у разі 20 °С)	°С
Аміак	2,09	2,4	–33,4	9,18	899
Ацетилен	1,69	2,2	–83,7	9,35	471
н-Бутан	1,679	1,6	–0,5	6,835	650
Вуглець	14,335	17,6	–252,75	8,355	346
Метан	2,232	3,3	–161,6	10,395	419
Оксид вуглецю	0,837	2,3	–191,5	16,573	374
Пропан	1,667	1,9	–42,1	7,502	551
Сірководень	1,059	1,3	–60,2	11,66	273
Етан	1,753	2,4	–88,5	8,6	525
Етилен	1,554	2,0	–103,7	9,85	514

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації

до проведення практичних і лабораторних занять,
організації самостійної та індивідуальної робіт
із навчальної дисципліни

«ОСНОВИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності 263 – Цивільна безпека)*

Укладач **МИХАЙЛЮК** Андрій Олександрович

Відповідальний за випуск *К. В. Данова*

Редактор *Б. О. Хільська*

Комп'ютерне верстання *А. О. Михайлюк, І. В. Волосожарова*

План 2025, поз. 129М

Підп. до друку 16.03.2026. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 5,6.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025