

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій**

# **ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ОБ'ЄКТІВ**

**Методичні вказівки до виконання модульної роботи**

які навчаються на другому (магістерському) рівні  
за спеціальністю 261 «Пожежна безпека»,  
в галузі знань 26 «Цивільна безпека»  
(освітньо-професійні програми: «Пожежна безпека»,  
«Пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи»,  
«Управління пожежною безпекою»)

**Харків 2023**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій**

# **ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ОБ'ЄКТІВ**

**Методичні вказівки до виконання модульної роботи**

які навчаються на другому (магістерському) рівні  
за спеціальністю 261 «Пожежна безпека»,  
в галузі знань 26 «Цивільна безпека»  
(освітньо-професійні програми: «Пожежна безпека»,  
«Пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи»,  
«Управління пожежною безпекою»)

**Харків 2023**

Рекомендовано до друку кафедрою  
пожежної і техногенної безпеки об'єктів  
та технологій НУЦЗ України  
(протокол від 28.11.2023 № 5)

**Укладачі:** С. А. Вавренюк, В.В. Олійник

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор Ю. А. Отрош, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах факультету пожежної безпеки НУЦЗУ

Техногенна безпека об'єктів: методичні вказівки до виконання модульної роботи які навчаються на другому (магістерському) рівні за спеціальністю 261 «Пожежна безпека», в галузі знань 26 «Цивільна безпека» (освітньо-професійні програми: «Пожежна безпека», «Пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи», «Управління пожежною безпекою») ”/ Укладачі: С. А. Вавренюк, В.В. Олійник. – Х.: НУЦЗУ, 2023. – 21 с.

Методичні вказівки до виконання модульної роботи з дисципліни «Техногенна безпека об'єктів» для підготовки здобувачів вищої освіти за освітньо-професійними програмами: «Пожежна безпека», «Пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи», «Управління пожежною безпекою» другого (магістерського) рівня підготовки розраховані для самостійного вибору та виконання модульної контрольної роботи. У методичних вказівках надані основні вимоги до виконання контрольних завдань, порядок вибору завдання та основні рекомендації до виконання контрольної роботи.

## ВСТУП

Мета курсу «Техногенна безпека об'єктів» - отримання вмінь та навичок науково-технічного обґрунтування критеріїв оцінки пожежовибухонебезпеки технологічних процесів підвищеної небезпеки, оволодіння навичками і вміннями розробляти, пропонувати та впроваджувати інженерні та науково-технічні рішення з підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, враховуючи вимоги технічних регламентів, національних та міжнародних стандартів.

Дані методичні вказівки дають можливість здобувачам самостійно вивчити і практично засвоїти матеріал дисципліни. У методичних вказівках поряд із завданнями до виконання модульної роботи надаються теоретичні основи та приклади розв'язання задач.

У процесі виконання модульної роботи необхідно дотримуватись вимог нормативних документів щодо виконання розрахунків, а також вимог даних вказівок.

### 1 ВИБІР ВАРІАНТІВ ЗАВДАНЬ МОДУЛЬНОЇ РОБОТИ

При виконанні модульної роботи здобувачі повинні виконати три завдання.

**Перше завдання** (задача 1) полягає у розрахунковому визначенні ймовірності виникнення пожежі у виробничому приміщенні згідно вимог ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення.

Завдання до виконання розрахунків представлені в розділі 1.1. Варіант завдання здобувач обирає, виходячи із завдання та враховуючи вихідні дані, що наведені в таблиці 1 за останньою цифрою залікової книжки

Приклад розв'язання задачі 1 представлений в розділі 1.2.

**Друге завдання** (задача 2) полягає у розрахунковому визначенні категорії вибухонебезпеки технологічного блоку згідно вимог НПАОП 0.00-1.41-88 Загальні правила вибухобезпеки для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв.

Вихідні дані до виконання розрахунків представлені в розділі 1.1.

За таблицею 2 додатку здобувач за останньою цифрою залікової книжки обирає свій варіант для розрахунків.

**Третє завдання** (задача 3) полягає у розрахунковому визначенні категорії пожежовибухонебезпеки зовнішньої установки згідно вимог ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва, житлово-комунального господарства України від 15.06.2016 р. №158.

Вихідні дані до виконання розрахунків представлені в розділі 1.1.

За таблицею 4 додатку здобувач за останньою цифрою залікової книжки обирає свій варіант для розрахунків.

При виконанні розрахунків необхідно навести розшифрування формул (поясненнями величин, що входять до формул, і їх розмірностями в системі СІ) з посиланням на літературні джерела (із вказівкою сторінок і номерів таблиць), з яких взято довідкові дані фізичних величин та параметрів пожежної безпеки.

Приклад розв'язання задачі 3 представлений в розділі 1.2.

### **1.1.Завдання до виконання модульної роботи**

**Задача 1.** Розрахувати імовірність виникнення вибуху у відділенні компресії.

Відділення компресії розташоване в одноповерховій виробничій будівлі розмірами 20 x 12 x 10 м. Стіни - цегляні із стрічковим склінням. Перекриття - з ребристих залізобетонних плит. Освітлення цеху - електричне. Опалення - центральне. Цех обладнаний аварійною вентиляцією з кратністю повітрообміну ( $n$ ) рівною 8. Будівля має блискавкозахист.

В приміщенні цеху розташований компресор, який підвищує тиск етилену, що поступає з магістрального трубопроводу з  $11 \cdot 10^5$  Па до  $275 \cdot 10^5$  Па. Діаметр трубопроводів з етиленом дорівнює 150 мм. Температура етилену досягає  $130^\circ\text{C}$ .

За пожежовибухонебезпекою цех відноситься до категорії А.

Для відключення компресора при заклинюванні всмоктуючого клапана є система контролю тиску, яка вимикає компресор через 10 с після заклинювання клапана.

Дослідженнями встановлено, що за рік в цеху компресії спостерігались випадки заклинювання клапанів, а також випадки руйнування деталей поршневої групи, в результаті чого в циліндрі компресора спостерігалось іскріння (фрикційні іскри).

Статистичні дані щодо тривалості роботи компресора, кількості та виду відмов елементів циліндра компресора протягом року представлені в таблиці 1 Додатку.

**Задача 2.** Визначити категорію вибухонебезпеки технологічного блоку приймання нафтопродуктів на складі паливно-мастильних матеріалів (ПММ), який включає вузол зливу (зливна лінія та автоцистерна). При розрахунках приймається варіант максимальної аварії - розгерметизація з'єднання автоцистерни із зливним пристроєм на повний переріз. Вихідні дані для розрахунків наведені в таблиці 2 Додатку.

Показники пожежовибухонебезпеки нафтопродуктів, що обертаються на складі ПММ, представлені в таблиці 3 Додатку.

### **Задача 3.**

Визначити категорію зовнішніх установок АЗС. Характеристика зовнішніх установок, технологічного обладнання та горючих речовин і матеріалів, що в ньому обертаються, представлена в табл. 4 Додатку. На АЗС технологічний процес поділений на 3 технологічні блоки:

- блок 1 - вузол зливу нафтопродукту з автоцистерни в резервуар;
- блок 2 - паливно-роздавальні колонки;
- блок 3 - відкрита насосна (під навісом).

Показники пожежовибухонебезпеки нафтопродуктів, що обертаються на АЗС, представлені в таблиці 3 Додатку.

## 1.2. Приклади розв'язання задач

**Задача 1.** Розрахувати імовірність виникнення вибуху у відділенні компресії.

### Вихідні дані до розрахунків.

Відділення компресії розташоване в одноповерховій виробничій будівлі розмірами 20 x 12 x 10 м. Стіни - цегляні із стрічковим склінням. Перекриття - з ребристих залізобетонних плит. Освітлення цеху - електричне. Опалення - центральне. Цех обладнаний аварійною вентиляцією з кратністю повітрообміну ( $n$ ) рівною 8. Будівля має блискавкозахист.

У приміщенні цеху розташований компресор, який підвищує тиск етилену, що поступає з магістрального трубопроводу з  $11 \cdot 10^5$  Па до  $275 \cdot 10^5$  Па. Діаметр трубопроводів з етиленом дорівнює 150 мм. Температура етилену досягає  $130^\circ\text{C}$ .

За пожежовибухонебезпекою цех відноситься до категорії А.

Для відключення компресора при заклинюванні всмоктуючого клапана є система контролю тиску, яка вимикає компресор через 10 с після заклинювання клапана. У робочому стані компресор протягом року знаходився 4000 годин.

Дослідженнями встановлено, що за рік в цеху компресії спостерігалось 10 випадків заклинювання клапанів, а також стався 1 випадок руйнування деталей поршневої групи, в результаті чого в циліндрі компресора протягом 2 хв. спостерігалось іскріння (фрикційні іскри).

### Розрахунок.

Розрахунок імовірності виникнення пожежі та вибуху у відділенні компресії виконуємо згідно методики визначення імовірності виникнення пожежі (вибуху) на пожежовибухонебезпечному об'єкті за ДСТУ 8828:2019.

Так як приміщення відділення компресії відноситься до категорії А за вибухопожежною безпекою, то у даному цеху можливі як вибух так і пожежа.

Пожежна безпека відділення компресії складається з пожежної безпеки компресорної установки та пожежної безпеки приміщення.

Пожежна безпека компресора обумовлена безпекою виникнення вибуху етиленоповітряної суміші усередині апарата.

Пожежна безпека приміщення обумовлена безпекою виникнення пожежі в ньому, а також безпекою виникнення вибуху етилено-

повітряної суміші в об'ємі приміщення при виході етилену з газових комунікацій при аварії.

## **Розрахунок**

### **1. Розрахунок імовірності виникнення вибуху етиленоповітряної суміші усередині апарата**

Виникнення вибуху в компресорі обумовлено одночасною появою в циліндрі компресора горючого газу - етилену, окисника та джерела запалювання.

Виконаємо розрахунок імовірності появи в циліндрі компресора кожного з цих факторів.

#### **1.1. Розрахунок імовірності утворення горючого середовища**

Імовірність утворення горючого середовища в циліндрі компресора визначається за формулою:

$$Q_i(GC_k) = Q_i(GP_l) \cdot Q_i(OK_m), \quad k = 1 + 10(m-1)$$

де  $Q_i(GP_l)$  - імовірність появи достатньої для утворення ГС кількості  $l$ -ої горючої речовини в  $i$ -ому елементі об'єкта протягом року;

$Q_i(OK_m)$  - імовірність появи достатньої для утворення ГС кількості  $m$ -го окисника в  $i$ -ому елементі об'єкта протягом року;

$k, l, m$  - порядкові номери горючого середовища, горючої речовини та окисника.

##### **1.1.1. Розрахунок імовірності появи в циліндрі компресора горючої речовини (етилену)**

За умовами технологічного процесу в циліндрі компресора постійно обертається горючий газ - етилен, тому імовірність появи горючого газу в компресорі дорівнює 1.

$$Q_k(GP) = Q_k(GP_l) = Q_k(\lambda_1) = 1,$$

де  $Q_k(GP), Q_k(GP_l)$  - імовірність появи в циліндрі компресора горючої речовини об'єкта протягом року.

$Q_k(\lambda_1)$  - імовірність постійної присутності горючої речовини (етилену) в циліндрі компресора протягом року.

##### **1.1.2 Розрахунок імовірності появи в циліндрі компресора окисника**

Поява окисника (повітря) в циліндрі компресора можливе при заклинюванні всмоктуючого клапана. У цьому випадку в циліндрі створюється розрідження, що обумовлює підсмоктування повітря через сальни-

кові ущільнення. Для відключення компресора при заклинюванні всмоктуючого клапана є система контролю тиску, яка вимикає компресор через 10 с після заклинювання клапана. Дослідженнями встановлено, що за рік спостерігалось 10 випадків заклинювання клапанів. В робочому стані компресор протягом року знаходився 4000 годин.

Основна формула визначення імовірності появи в циліндрі компресора окисника за [1]:

$$Q_i(b_2) = Q_i(S_1) \cdot Q_i(S_2)$$

де  $Q_i(b_2)$  – імовірність підсмоктування окисника до апарата з горючою речовиною;

$Q_i(S_1)$  – імовірність знаходження апарата під розрідженням;

$Q_i(S_2)$  – імовірність розгерметизації апарата.

Визначаємо кожну із складових цієї формули.

**Імовірність знаходження компресора під розрідженням** протягом року знаходимо за формулою:

$$Q_K(S_1) = \frac{K_\sigma}{\tau_p} \sum_{i=1}^m \tau_i = \frac{1}{525600} \cdot 2000 \cdot 60 = 2,3 \cdot 10^{-1}$$

де  $K_\sigma$  - коефіцієнт безпеки, приймається рівним 1;

$\tau_p$  - період часу, що аналізується, хв. Складає 1 рік, тобто 525600 хв;

$m$  - кількість реалізації причини в і-тому елементі протягом року;

$\tau_i$  - тривалість роботи компресора, що знаходився під розрідженням та тиском протягом року, приймається рівним 0,5 від загальної кількості робочого часу, тобто 0,5 x 4000 год, хв;

**Імовірність розгерметизації компресора ( $Q_i(S_2)$ )** дорівнює:

$$Q_K(S_2) = \frac{K_\sigma}{\tau_p} \sum_{i=1}^m \tau_i = \frac{1}{525600} \cdot \frac{10 \cdot 10}{60} = 3,2 \cdot 10^{-6}$$

де  $K_\sigma$  - коефіцієнт безпеки, приймається рівним 1;

$\tau_p$  - період часу, що аналізується, хв. Складає 1 рік, тобто 525600 хв;

$m$  - кількість заклинювань клапана в компресорі протягом року, становить 10;

$\tau_i$  - тривалість роботи компресора при заклинюванні клапана протягом року, хв.

Розраховуємо **імовірність підсмоктування окисника до компресора** ( $Q_i(b_2)$ ) за формулою:

$$Q_K(b_2) = Q_K(S_1)Q_K(S_2) = 2,3 \cdot 10^{-1} \cdot 3,2 \cdot 10^{-6} = 7,4 \cdot 10^{-7}$$

Таким чином, імовірність появи в циліндрі компресора достатньої кількості окисника становить:

$$Q_K(OK) = Q_K(OK_1) = Q_K(b_2) = 7,4 \cdot 10^{-7}$$

Отже, імовірність утворення горючого середовища в циліндрі компресора відповідно до вимог [1] становить:

$$Q_K(ГС) = Q_i(ГР_1) \cdot Q_i(OK_m) = 1 \cdot 7,4 \cdot 10^{-7} = 7,4 \cdot 10^{-7}$$

## 1.2 Розрахунок імовірності появи джерела запалювання

Джерелом запалювання етиленоповітряної суміші в циліндрі компресора можуть бути тільки іскри механічного походження, що виникають при руйнуванні вузлів і деталей поршневої групи через втрати міцності матеріалу або при ослабленні болтових з'єднань.

Статистичні дані показують, що за період часу, який аналізується, відмічено 1 випадок руйнування деталей поршневої групи, в результаті чого в циліндрі компресора протягом 2 хв. спостерігалось іскріння (фрикційні іскри).

Таким чином, імовірність появи джерела запалювання в циліндрі компресора, визначаємо згідно вимог [1] за формулою:

$$Q_i(ДЗ_n / ГС_k) = Q_i(ТД_n) \cdot Q_i(B_n^k)$$

де  $Q_i(ТД_n)$  - імовірність появи в  $i$ -му елементі об'єкта протягом року  $n$ -го енергетичного (теплового) джерела;

$Q_i(B_{nk})$  - умовна імовірність того, що займиста здатність  $n$ -го енергетичного (теплового) джерела, що може з'явитися в  $i$ -му елементі об'єкта, достатня для запалювання  $k$ -го горючого середовища, що знаходиться в цьому елементі.

### 1.2.1 Розрахунок імовірності появи в циліндрі компресора теплового джерела (фрикційних іскор)

Розрахунок імовірності появи в циліндрі компресора фрикційних іскор визначаємо за формулою:

$$Q_k(TД) = Q_k(TД_3) = Q_k(f_2) = \frac{K_{\sigma}}{\tau_p} \sum_{i=1}^m \tau_i$$

де  $Q_i(f_2)$  - імовірність руйнування вузлів та деталей циліндра компресора, що рухаються, протягом року;

де  $K_{\sigma}$  - коефіцієнт безпеки, приймається рівним 1;

$\tau_p$  - період часу, що аналізується, хв. Складає 1 рік, тобто 525600 хв;

$m$  - кількість випадків руйнування поршневої групи, за яких утворюються фрикційні іскри, за статистикою - 1 раз на рік;

$\tau_i$  - тривалість іскріння в циліндрі компресора, за статистикою становить 2 хв.

Тоді імовірність руйнування вузлів та деталей циліндра компресора (імовірність появи фрикційних іскор), що рухаються, становить:

$$Q_k(f_2) = \frac{K_{\sigma}}{\tau_p} \sum_{i=1}^m \tau_i = \frac{1}{525600} \cdot 2 = 3,8 \cdot 10^{-6}$$

### 1.2.2 Розрахунок імовірності того, що фрикційні іскри, що утворюються в циліндрі компресора, здатні запалити горюче середовище

Імовірність ( $Q_i(B_{nk})$ ) того, що займиста здатність  $n$ -го енергетичного (теплового) джерела, що може з'явитися в  $i$ -му елементі об'єкта, достатня для запалювання  $k$ -го горючого середовища, що знаходиться в цьому елементі згідно [1] визначається експериментально або порівнянням параметрів енергетичного (теплового) джерела з відповідними показниками пожежної небезпеки горючого середовища.

Для визначення займистої здатності фрикційних іскор необхідно оцінити теплову енергію іскор, що утворюються, та порівняти її з мінімальною енергією запалювання етиленоповітряної суміші (0,12 мДж).

Але так як відсутні дані для визначення енергії іскор, згідно [1] приймаємо:

$$Q_i(B_{nk}) = 1.$$

Тоді імовірність появи в циліндрі компресора джерела запалювання становить:

$$Q_k(DZ/ГС) = Q_k(TД) \cdot Q_i(B_n^k) = 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 3,8 \cdot 10^{-6}$$

### 1.3. Розрахунок імовірності вибуху етиленоповітряної суміші усередині компресора

Виникнення вибуху в циліндрі компресора обумовлене утворенням горючого середовища в даному апараті та появою в цьому середовищі джерела запалювання.

Імовірність вибуху етиленоповітряної суміші в циліндрі компресора визначаємо за формулою:

$$Q_k(BTA) = Q_k(ГС) \cdot Q_k(DZ) = 7,4 \cdot 10^{-7} \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} = 2,8 \cdot 10^{-12}$$

Таким чином, імовірність вибуху етиленоповітряної суміші усередині компресора становить -  $2,8 \cdot 10^{-12}$ .

**Задача 2.** Визначити категорію вибухонебезпеки технологічного блоку відвантаження нафтопродуктів на складі нафтопродуктів, якщо при аварії на лінії з'єднання автоцистерни із зливним пристроєм на повний переріз діаметром 100 мм при швидкості витоку бензину А-76  $25 \text{ м}^3/\text{год}$ . стався викид нафтопродукту. Вимкнення автоцистерни було виконано через 60 с. Робоча температура становить  $35^\circ\text{C}$ .

### Теоретична частина. 1. Визначення значень енергетичних показників вибухопожежонебезпеки технологічних блоків АЗС

Кількість горючих парогазових і рідких нафтопродуктів, яка може бути викинута в навколишнє середовище при аварійній розгерметизації технологічного обладнання, трубопроводів є основним показником рівня вибухонебезпеки технологічного блоку  $G_\Sigma$ . Енергія повного згоряння викинутих у навколишнє середовище газоподібних і рідких продуктів називається абсолютним енергетичним потенціалом вибухонебезпеки і визначається за формулою:

$$E_x = G_\Sigma \cdot q$$

де -  $E_x$  - енергетичний потенціал вибухонебезпеки технологічної системи, що представляє собою суму енергій згоряння парогазових фаз, які можуть бути викинуті при аварійній розгерметизації системи та утворені за рахунок теплопритоку до рідини від внутрішніх і зовнішніх джерел тепла;

$q$  - питома теплота згоряння нафтопродукту.

За значеннями загальних енергетичних потенціалів вибухонебезпеки визначають розміри інших показників, що характеризують рівень вибухонебезпеки технологічної системи.

Загальна маса горючих парів (газів) вибухонебезпечної парової хмари, приведена до однієї питомої енергії згоряння, рівної 46000 кДж/кг, визначається за формулою:

$$m = \frac{E_x}{46000}$$

Відносний енергетичний потенціал, вибухонебезпеки технологічного блоку, визначають за формулою:

$$Q_B = \frac{1}{16.534} \cdot \sqrt[3]{E_x}$$

За значеннями відносних енергетичних потенціалів ( $Q_B$ ) приведеної маси парогазової фази всі технологічні системи поділяються на три категорії вибухонебезпеки: I - найвища, II - середня, III - невисока (табл.).

Таблиця – Класифікація технологічних блоків за відносними енергетичними потенціалами

Категорія вибухонебезпеки	Відносний енергетичний потенціал	Загальна маса горючих парів(газів), що приведена до єдиної питомої енергії згоряння, кг
I	Більше 37	Більше 5000
II	27-37	2000-5000
III	Менше 27	Менше 2000

### Розрахунок.

1.Визначення кількості бензину, що вийде до навколишнього середовища при аварії.

Враховуючи, що швидкість заповнення резервуара бензином складає 25 м<sup>3</sup>/год., тоді за 60 с у навколишнє середовище при аварії вийде 0,42 м<sup>3</sup> або 312 кг бензину (густина бензину - 750 кг/м<sup>3</sup>).

## 2. Визначення площі випаровування бензину.

Так як енергетичний показник вибухонебезпеки технологічного блоку №1 АЗС за умов розгерметизації з'єднання автоцистерни із зливним пристроєм визначається енергією згоряння парогазової фази, що утворюється в результаті розливу на тверду поверхню рідкої фази та її випаровування, необхідно визначити масу бензину, що випарується з поверхні розливу.

Площа поверхні дзеркала розливу бензину А-76 визначається відповідно до вимог Методики прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті, що затверджена Наказом МВС, від 29.11.2019 року за № 1000.

Площа випаровування при розливі на горизонтальну поверхню визначається (у разі відсутності довідникових або інших експериментальних даних), виходячи з розрахунку, що 1 л сумішей і розчинів, що містять 70% і менше (по масі) розчинників, розливається на площі 0,1 м<sup>2</sup>, а інших рідин - на 0,15 м<sup>2</sup> [ 3 ].

Тоді площа розливу 0,42 м<sup>3</sup> (420 л) бензину становить 63 м<sup>2</sup>.

$$S = f \frac{m_a}{\rho_p} = 150 \frac{312}{750} = 63 \text{ м}^2$$

$$F_e = F_p = 63 \text{ м}^2$$

де  $S$  - площа поверхні випаровування, м<sup>2</sup>;

$m_a$  - маса рідини, що виходить при розгерметизації з'єднання автоцистерни із зливним пристроєм паливних резервуарів на повний переріз, кг.

## 3. Визначаємо інтенсивність випаровування бензину за формулою:

$$W_e = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_s = 10^{-6} \cdot \sqrt{98,2} \cdot 257 = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ кг с}^{-1}\text{м}^{-2}.$$

$M$  - молекулярна маса бензину, кг/кмоль;

$P_s$  - тиск насиченої пари при розрахунковій температурі, Па. Визначають за рівнянням Антуана:

$$P_s = 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A}\right)} = 10^{\left(5,07020 - \frac{682,876}{35 + 222,066}\right)} = 257 \text{ кПа}$$

де А, В та С<sub>А</sub> - константи Антуана, які залежать від властивостей рідини [5], для бензину А=5,07020; В=682,876; С<sub>А</sub>=222,066.

t<sub>p</sub> - робоча температура, становить 35<sup>0</sup>С.

4.Визначаємо кількість парів бензину, що випаровується з площі розливу за 1 годину:

$$m_g = W_g \cdot F_g \cdot \tau_p = 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot 63 \cdot 3600 = 578 \text{ кг},$$

де W<sub>в</sub> - інтенсивність випаровування бензину, кг с<sup>-1</sup>м<sup>-2</sup>.

τ<sub>p</sub> - час повного випаровування розлитої рідини з площі поверхні, приймається рівним 3600 с. згідно вимог [ 3 ].

Так як кількість парів бензину, що випаровується з площі розливу за 1 годину (максимальний час випаровування, що приймається згідно вимог [3]), перевищує загальну масу рідини, що розливається при аварії, у розрахунках приймаємо, що за 1 годину випарувалася вся маса бензину, що розлилася (312 кг).

5.Енергетичний показник вибухонебезпеки технологічного блоку №1 АЗС за умов розгерметизації з'єднання автоцистерни із зливним пристроєм паливних резервуарів на повний переріз визначається енергією згоряння парогазової фази, що утворюється в результаті розливу на тверду поверхню рідкої фази і випаровування її за рахунок тепловіддачі від навколишнього середовища (від повітря по дзеркалу та твердій поверхні до рідини):

$$E = E_{4//}$$

де E - енергетичний потенціал вибухонебезпеки, кДж (повна енергія згоряння парогазової фази, що надходить в навколишнє середовище при аварійній розгерметизації блоку);

E<sub>4//</sub> - енергія згоряння парогазової фази, що утворюється при розливі на тверду поверхню (підлога, ґрунт, піддон тощо) рідкої фази та її випаровуванні за рахунок тепловіддачі від навколишнього середовища (від повітря по дзеркалу та твердій поверхні до рідини), кДж.

У випадку аварії на складі розлив бензину А-76 відбувається на бетонну поверхню.

Визначення ( $E_4''$ ) - енергії згоряння парогазової фази, що утворюється при розливі на бетонну поверхню бензину А-76 та його випаровуванні здійснюють за формулою:

$$E_4'' = G_{\Sigma}'' \cdot q' = 312 \cdot 44051 = 13743912 \text{ кДж}$$

де  $G_{\Sigma}'' = G_5'' = 58,3$  кг - сумарна маса рідкої фази (бензину), що випаровується з розлитої поверхні рідини за рахунок теплопідводу з навколишнього середовища;

$q'$  - питома теплота згоряння парогазової фази, кДж/кг. Визначають теплоту згоряння бензину А-76 довідковими даними або за формулою Басса:

$$Q_t = 50460 - 8,545 \cdot \rho_t = 50460 - 8,545 \cdot 750 = 44051 \text{ кДж/кг}$$

6. Загальна маса горючих парів вибухонебезпечної парової хмари становить:

$$m = \frac{E_x}{46000} = \frac{13743912}{46000} = 298,8 \text{ кг}$$

7. Відносний енергетичний потенціал, вибухонебезпеки технологічного блоку дорівнює:

$$Q_B = \frac{1}{16,534} \cdot \sqrt[3]{E_x} = \frac{1}{16,534} \cdot \sqrt[3]{13743912} = 14,37$$

Таким чином, згідно таблиці категорія вибухонебезпеки блоку №1 АЗС III (невисока).

**Задача 3.** Визначити категорію зовнішньої установки технологічного блоку АЗС (вузол зливу нафтопродуктів з автоцистерни до резервуарів). В автоцистерні знаходиться 2,88 тонн бензину.

**Розрахунок.**

1. Обґрунтування розрахункового варіанту аварії.

Вихідною умовою при визначенні категорії зовнішньої установки технологічного блоку № 1 АЗС за вибухопожежною та пожежною небезпекою є аварійна ситуація за якою виникає розгерметизація технологіч-

ного обладнання і пари бензину в суміші з повітрям утворюють пожежо-вибухонебезпечні концентрації.

Приймаємо умови повної розгерметизації автоцистерни з викидом 2,88 тонн бензину, що розливається по поверхні майданчика і випаровується у навколишнє середовище.

2. Визначаємо максимальну площу випаровування бензину, що розливається в кількості 2,88 тонн. При цьому за вимогами [ 3 ] площа випаровування при розливі на горизонтальну поверхню визначається (у разі відсутності довідникових або інших експериментальних даних), виходячи з розрахунку, що 1 л ЛЗР та ГР розливається на площі 0,15 м<sup>2</sup>. Тоді площа поверхні випаровування бензину дорівнює площі розливу, яку розраховуємо за формулою:

$$S = f \frac{m_a}{\rho_p} = 576 \text{ м}^2$$

де S - площа поверхні випаровування, м<sup>2</sup>;

m<sub>a</sub> - маса рідини, що виходить при розгерметизації з'єднання автоцистерни із зливним пристроєм паливних резервуарів на повний переріз, кг.

Отже, площа поверхні випаровування дорівнює площі розливу:

$$F_B = S = 576 \text{ м}^2.$$

3. Кількість парів бензину, що випаровується з площі розливу за 1 годину:

$$m_g = W_g \cdot F_g \cdot \tau_p = 5,4 \cdot 10^{-4} \cdot 576 \cdot 3600 = 1120 \text{ кг}$$

де W<sub>g</sub> - інтенсивність випаровування бензину, кг с<sup>-1</sup>м<sup>-2</sup>.

τ<sub>p</sub> - час повного випаровування розлитої рідини з площі поверхні, приймається рівним 3600 с.

4. Визначаємо інтенсивність випаровування бензину за формулою:

$$W_g = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_s = 10^{-6} \cdot \sqrt{98,2} \cdot 55 = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ кг с}^{-1}\text{м}^{-2}.$$

M - молекулярна маса бензину, кг/кмоль;

P<sub>s</sub> - тиск насиченої пари при розрахунковій температурі, Па.

За розрахункову температуру слід приймати максимально можливу температуру повітря у відповідній кліматичній зоні або максимально можливу температуру повітря за технологічним регламентом з урахуванням можливого підвищення температури у випадку аварійної ситуації. Якщо такого значення розрахункової температури  $t_p$ , за будь-якими причинами визначити не вдається, допускається приймати її рівною 61°C. В нашому випадку приймаємо максимальну температуру навколишнього середовища - 40°C.

Визначаємо тиск насичених парів бензину ( $P_H$ ) при розрахунковій температурі 40°C;

$$P_s = 10^{\left( A - \frac{B}{t + C_a} \right)} = 10^{\left( 4,26511 - \frac{695,019}{40 + 223,220} \right)} = 55(\text{кПа})$$

де  $P_s$  - тиск насиченої пари при розрахунковій температурі, Па;  
 $A, B, C_a$  - константи Антуана, що залежать від властивостей рідини, приймаються за довідником;  
 $t_p$  - розрахункова температура, °C.

5. Виконаємо розрахунок горизонтальних розмірів зон, що обмежують пароповітряну суміш з концентрацією бензину вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я. В даному випадку аварійне надходження горючих парів ЛЗР (бензину) до відкритого простору відбувається при температурі, що не перевищує температуру оточуючого середовища.

$$R_{\text{НКМП}} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left( \frac{P_H}{C_{\text{НКМР}}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} \cdot P_H} \right)^{0,333}$$

$$\rho_{\text{Г,П}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{98,2}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 40)} = 3,82 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$$

де  $m_{\text{п}}$  - маса парів ЛЗР, що надійшли до відкритого простору за час повного випаровування, але не більше 3600 с, кг;

$\rho_p$  - густина парів ЛЗР при розрахунковій температурі та атмосферному тиску,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;

$P_n$  - тиск насичених парів ЛЗР при розрахунковій температурі, кПа;

$K$  - коефіцієнт, що приймається рівним  $K = \tau/3600$  для ЛЗР, приймається рівним 1;

$\tau$  - тривалість надходження парів ЛЗР до відкритого простору, с;

$C_{HKMP}$  - нижня концентраційна межа поширення полум'я парів ЛЗР, % (об.);

$M$  - молярна маса,  $\text{кг}\cdot\text{кмоль}^{-1}$ ;

$V_0$  - мольний об'єм, рівний  $22,413 \text{ м}^3\cdot\text{кмоль}^{-1}$ ;

$t_p$  - розрахункова температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

Отже, горизонтальний розмір зони, який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я становить:

$$R_{HKMP} = 3,1501 \cdot \sqrt{1} \cdot \left(\frac{55}{1,06}\right)^{0,813} \cdot \left(\frac{1120}{3,82 \cdot 55}\right)^{0,333} = 136,7 \text{ м}$$

Таким чином, горизонтальний розмір зони, який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я для бензину за умов аварії на технологічному блоці №1 АЗС перевищує 30 м. Отже, зовнішня установка відноситься до категорії  $A_3$  за вибухопожежною небезпекою.

Також це твердження можна підтвердити наступними розрахунками за величиною надлишкового тиску ( $\Delta P$ ), що розвивається у разі згоряння пароповітряних сумішей за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot (0,8m_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5m_{\text{пр}}/r^3),$$

де  $P_0$  - атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа);

$r$  - відстань від геометричного центра пароповітряної хмари, м;

$m_{\text{пр}}$  - приведена маса пари, кг, що розраховується за формулою:

$$m_{\text{пр}} = (Q_{\text{зг}}/Q_0) \cdot m \cdot Z = \left( \frac{43,7 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \right) \cdot 1120 \cdot 0,1 = 1086 \text{ кг.}$$

де  $Q_{\text{зг}}$  - питома теплота згоряння пари,  $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}$ ;

Z- коефіцієнт участі горючих парів у горінні, який допускається приймати рівним 0,1;

$Q_0$  - константа, рівна  $4,52 \cdot 10^6$  Дж·кг<sup>-1</sup>;

m - маса горючих парів, які надійшли в результаті аварії до навколишнього простору, кг.

Тоді на відстані 30 м від зовнішньої установки технологічного блоку при згорянні пароповітряної хмари розвивається надлишковий тиск, що дорівнює:

$$\Delta P = 101 \cdot (0,8 \cdot 1086^{0,33} / 15 + 3 \cdot 1086^{0,66} / 15^2 + 5 \cdot 1086 / 15^3) = 707 \text{ кПа}$$

Таким чином, установка технологічного блоку (вузол зливу нафтопродуктів з автоцистерни до резервуарів) відноситься до категорії А<sub>з</sub>, так як в ній легкозаймисті рідини (бензини) з температурою спалаху не більше 28°C і розрахунковий надлишковий тиск у разі згоряння пароповітряної суміші на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 5 кПа.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 8828-:2019. Пожежна безпека. Загальні положення.
2. НПАОП 0.00-1.41-88. Загальні правила вибухобезпеки для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв.
3. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва, житлово-комунального господарства України від 15.06.2016 р. №158.
4. О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, І.Я. Кріса, П.А. Білим, О.О.Тесленко. Навчальний посібник «Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки». – Х.: УЦЗУ, 2010 - 343 с.
5. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Сирих В.М. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів: практикум/ - Х.: НУЦЗУ, 2016.- 198 с.

## ДОДАТОК

### Варіанти до завдання №1

№ варіанту	Статистичні дані щодо відмов елементів циліндра компресора протягом року			
	Тривалість роботи компресора, год.	Кількість випадків заклинювання клапанів компресора	Кількість випадків руйнування деталей поршневої групи компресора	Тривалість іскріння в компресорі при аварії, хв.
0	4000	15	3	2
1	3500	10	2	1,5
2	3200	12	2	2
3	3000	7	1	3
4	4500	16	4	3
5	4100	14	3	2
6	3600	6	1	3
7	4700	17	4	2
8	2500	5	1	4
9	3800	9	2	1,5

### Варіанти до завдання N 2

Остання цифра залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид палива	Бензин А-76	Бензин А-92	Дизельне паливо марки З	Дизельне паливо марки Л	Бензин А-95	Бензин А-76	Бензин А-92	Дизельне паливо марки З	Дизельне паливо марки Л	Бензин А-95
Діаметр зливного пристрою, мм	100	80	95	90	110	105	85	100	90	80
Час відключення автоцистерни, сек	60	50	65	80	90	100	120	130	85	70
Швидкість витoku палива, м <sup>3</sup> /год	20	25	30	18	25	20	17	22	21	30
Робоча температура, °С	30	25	48	38	20	40	30	40	42	24

### Показники вибухопожежонебезпеки нафтопродуктів

Марка нафтопродукту	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Молекулярна маса, кг/кмоль	T <sub>сп</sub> , °C	Температурні межі поширення полум'я, °C	Нижня концентраційна межа поширення полум'я, % об.	Теплота згоряння, кДж/кг	Константи рівняння Антуана
Бензин А-76	798	97	-35	-35...17	1,08	44239	A=4,19500; B=682,876; C <sub>a</sub> = 222,066.
Бензин А-92	730	98,2	-38	-37...5	1,06	43641	A=4,12311; B=664,976; C <sub>a</sub> = 221,695.
Бензин А-95	738	95	-37	-37...-10	1,1	43641	A=4,26511; B=695,019; C <sub>a</sub> = 223,220.
Дизельне паливо марки З	804	172	48	43...92	0,61	43590	A=5,07818; B=1255,73; C <sub>a</sub> = 199,529.
Дизельне паливо марки Л	824	204	65	58...108 (98)	0,52	43419	A=5,00109; B=1314,04; C <sub>a</sub> = 192,473.

### Варіанти до завдання № 3 модульної роботи

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Назва технологічного блоку АЗС	Блок №1	Блок №2	Блок №3	Блок №1	Блок №2	Блок №3	Блок №1	Блок №2	Блок №3	Блок №1
Вид палива	Бензин А-76	Дизельне паливо марки З	Бензин А-92	Дизельне паливо марки Л	Бензин А-95	Дизельне паливо марки З	Бензин А-95	Бензин А-92	Дизельне паливо марки Л	Бензин А-92
Кількість палива, т	2,0	0,05	0,18	2,8	0,1	0,36	1,5	0,15	0,25	2,88
Температура, °C	20	25	30	18	15	20	17	22	21	40

*Навчальне видання*

## **ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ОБ'ЄКТІВ**

### **Методичні вказівки до виконання модульної роботи**

які навчаються на другому (магістерському) рівні  
за спеціальністю 261 «Пожежна безпека»,  
в галузі знань 26 «Цивільна безпека»  
(освітньо-професійні програми: «Пожежна безпека»,  
«Пожежогашіння та аварійно-рятувальні роботи»,  
«Управління пожежною безпекою»)

Підписано до друку 15.12.2023. Формат 60x84 1/16.  
Умовн.-друк. арк. 1,2.  
Вид. № 75/23.

Сектор редакційно-видавничої діяльності  
Національного університету цивільного захисту України  
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

[www.nuczu.edu.ua](http://www.nuczu.edu.ua)