

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ**

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

ФЕРЕНЦ Н.О., ПАВЛЮК Ю.Е.

**Пожежна профілактика
технологічних процесів
в прикладах та задачах**

Навчальний посібник

ЛЬВІВ 2015

Ференц Н.О., Павлюк Ю.Е. Пожежна профілактика технологічних процесів в прикладах та задачах. Навчальний посібник. Львів: ЛДУБЖД, 2015. – 205 с.

Укладачі:

Ференц Н.О., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, полковник служби цивільного захисту

Павлюк Ю.Е., кандидат технічних наук, доцент, проректор по роботі з персоналом Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, полковник служби цивільного захисту

Рецензенти:

Шналь Т.М., кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка»

Станіславчук О.В., кандидат технічних наук, доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Рекомендовано до друку Вченою радою
Львівського державного університету безпеки
життєдіяльності (Протокол № 2 від 22 жовтня 2014 р.)

З М І С Т

Передмова.....	2
1. Аналіз вибухопожежної небезпеки технологічних процесів.....	3
1.1. Оцінка вибухопожежонебезпечності середовища всередині технологічного обладнання	3
1.2. Пожежна небезпека виходу горючих речовин зі справних технологічних апаратів.....	18
1.3. Пожежна небезпека виходу горючих речовин з пошкодженого технологічного обладнання	35
1.4. Причина пошкодженого технологічного обладнання.....	51
1.5. Виробничі джерела запалювання	66
2. Технічні рішення для забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів та апаратів.....	77
2.1. Захист технологічних комунікацій і технологічних апаратів від поширення пожежі.....	77
2.2. Методики розрахунку пристроїв для захисту технологічних комунікацій і технологічних апаратів від поширення пожежі.....	102
2.2.1. Методика розрахунку гравійного вогнеперешкоджувача.....	102
2.2.2. Методика розрахунку зовнішньої парової завіси.....	105
2.2.3. Методика розрахунку системи аварійного зливу рідин.....	109
2.2.4. Методика розрахунку запобіжного клапана.....	113
2.2.5. Методика розрахунку запобіжної мембрани.....	117
2.3. Захист технологічних апаратів від розтікання легкозаймистих та горючих рідин.....	120
2.3.1. Методика розрахунку висоти обвалування навколо резервуарного парку складів нафти і нафтопродуктів.....	122
2.3.2. Методика розрахунку висоти обвалування навколо резервуарного парку скраплених вуглеводневих газів.....	124
2.3.2. Методика розрахунку висоти обвалування навколо груп електродегідраторів	125
3. Категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.....	142
3.1. Методика визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.....	142
3.2. Методика визначення категорії будинків та окремих проти-пожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною небезпекою.....	191
3.3. Методика визначення категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.....	199
Додатки.....	216
Література.....	239

ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник «Пожежна профілактика технологічних процесів» в прикладах та задачах» авторів Н.О.Ференц, Ю.Е.Павлюк призначений для курсантів, студентів та слухачів вищих навчальних закладів ДСНС України, інших навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Пожежна безпека».

Метою вказаного видання є допомога у засвоєнні навчальних дисциплін «Пожежна профілактика технологічних процесів» при підготовці бакалаврів напряму 6.070203 «Пожежна безпека», а також «Пожежна безпека виробництв» при підготовці бакалаврів напряму 6.070202 «Охорона праці».

Задачі, які викладені в навчальному посібнику, допоможуть курсантам, студентам та слухачам при курсовому та дипломному проектуванні, виконанні контрольних робіт. Матеріал посібника також може бути корисний для практичних працівників галузі пожежної безпеки, при проектуванні та розрахунку відповідних систем протипожежного захисту.

Навчальний посібник «Пожежна профілактика технологічних процесів» в прикладах та задачах» складається із передмови, трьох розділів, додатків, списку літературних джерел. З метою забезпечення методичного поєднання з теоретичною частиною курсу кожен з розділів посібника викладено за загальною схемою: стисла теоретична частина з основними розрахунковими формулами, методика розв'язання типових задач, варіанти завдань для самостійної роботи. В розділах наведені задачі, для яких розроблено по 10 варіантів початкових даних. Завдяки цьому кожен курсант, студент, слухач має можливість розв'язати своє окреме завдання.

Посібник укладено відповідно до програми дисципліни «Пожежна профілактика технологічних процесів». Перший розділ посібника присвячений аналізу вибухопожежної небезпеки технологічних процесів, другий – технічним рішенням щодо забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів, третій – визначенню категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. У додатках приведені таблиці значень величин, які використовуються при розв'язанні задач.

Автори висловлюють щире подяку рецензентам за низку зауважень та корисних порад, які були враховані при підготовці навчального посібника до видання.

Розділ 1. АНАЛІЗ ВИБУХОПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.

1.1. ОЦІНКА ВИБУХОПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКИ СЕРЕДОВИЩА ВСЕРЕДИНИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Умови утворення вибухонебезпечних концентрацій всередині технологічних апаратів залежать від вибухопожежонебезпечних властивостей та агрегатного стану речовин, які обертаються в технологічному процесі, конструктивних особливостей та режимів роботи обладнання.

1. Всередині апаратів з горючими газами або перегрітою парою вибухонебезпечна концентрація утворюється в тому випадку, якщо до них потрапляє повітря або за умовами проведення технологічного процесу подається окисник (кисень, повітря, хлор тощо) при виконанні співвідношення

$$\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v, \quad (1.1)$$

де: φ_p – дійсна (робоча) концентрація горючої речовини, [об. частки], [% об.] або [кг/м³]; φ_n та φ_v – відповідно нижня та верхня концентраційні межі розповсюдження полум'я, [об. частки], [% об.] або [кг/м³].

Значення φ_n та φ_v , приведені до 25° С при атмосферному тиску, знаходяться в табл.1 додатків. Визначити значення величин φ_n та φ_v при температурі середовища, яке відрізняється від 25° С, можна за формулами:

$$\varphi_n = \varphi_{n,25} \cdot \left(1 - \frac{t_p - 25}{1250} \right), \quad (1.2)$$

$$\varphi_v = \varphi_{v,25} \cdot \left(1 + \frac{t_p - 25}{800} \right), \quad (1.3)$$

де: t_p – робоча температура середовища в апараті, [°С].

Робочу концентрацію горючого газу в суміші з окисником можна визначити з матеріального балансу апарата за формулами:

$$\varphi_p = \frac{V_z}{V_z + V_{ок}}, \quad (1.4)$$

або

$$\varphi_p = \frac{G_z}{G_z + G_{ок}}, \quad (1.5)$$

де: V_z , $V_{ок}$ – об'єми відповідно горючого газу та окисника в апараті, [м³];
 G_z , $G_{ок}$ – об'ємні витрати горючого газу та окисника, [м³/с].

Вибухобезпечні умови експлуатації апаратів з горючими газами та перегрітою парою визначають із нерівностей:

$$\varphi_{p.без} \leq 0,9 \cdot (\varphi_n - 0,0021), \quad (1.6)$$

або

$$\varphi_{p.без} \geq 1,1 \cdot (\varphi_v + 0,0042), \quad (1.7)$$

де: $\varphi_{p.без}$ – вибухобезпечна концентрація горючої речовини в газопароповітряній суміші, [об. частки].

2. У вільному просторі герметичних апаратів та апаратів з вибухопожежонебезпечними рідинами, які “дихають”, вибухопожежонебезпечна концентрація утворюється, якщо виконується співвідношення (1.1):

$$\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v$$

В апаратах з рідинами, які зберігаються тривалий час, а особливо, з нагрітими рідинами, концентрація пари є близькою до насиченої, тобто $\varphi_p = \varphi_s$. В останній формулі φ_s – концентрація насиченої пари при робочій температурі рідини, [об. частки].

Концентрація насиченої пари над поверхнею рідини визначається за формулою:

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_{заг}}, \quad (1.8)$$

де: P_s – тиск насиченої пари при заданій температурі, [Па]. $P_{заг}$ – загальний тиск системи (робочий тиск у герметичному апараті або барометричний тиск в апараті, який з’єднується з атмосферою), [Па].

Тиск насиченої пари при робочій температурі рідини визначається за експериментальними даними – значення P_s деяких пожежонебезпечних рідин наведені в табл. 2 додатків, або обчислюються за формулами, наприклад, за рівнянням Антуана:

$$P_s = 133,322 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A} \right)}, \quad (1.9)$$

де: A, B, C_A – константи, які залежать від властивостей горючої рідини. Значення констант A, B, C_A деяких пожежонебезпечних рідин наведені в табл. 28, 29 додатків або визначаються за довідковою літературою; t_p – робоча температура рідини, [°C].

Для перерахунку концентраційних меж розповсюдження полум’я з об’ємних (мольних) часток в кілограми на кубічний метр використовують співвідношення:

$$\varphi_n^* = \frac{M \cdot \varphi_n}{V_t}, \quad (1.10)$$

де: φ_n^* – нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я, [кг/м³]; φ_n – нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я, [об.частки]; M – молекулярна маса пари рідини чи газу у заданих умовах, [кг/кмоль]; V_t – молярний об'єм пари рідини чи газу у заданих умовах, [м³/кмоль].

Молярний об'єм пари рідини чи газу у заданих умовах визначається за формулою:

$$V_t = V_o \cdot \frac{t_p + 273}{273} \cdot \frac{P_o}{P_{заг}}, \quad (1.11)$$

де: $V_o = 22,4125$ [м³/кмоль] – молярний об'єм пари рідини чи газу у нормальних умовах; t_p – робоча температура рідини, [°C]; $P_o = 1,01325 \cdot 10^5$ Па ($\approx 1 \cdot 10^5$ Па) – тиск у нормальних фізичних умовах ($P_o = 760$ мм рт. ст.); $P_{заг}$ – загальний тиск системи (робочий тиск у герметичному апараті або барометричний тиск в апараті, який з'єднується з атмосферою), [Па].

Вибухопожежобезпечні умови експлуатації герметичних апаратів з вибухопожежонебезпечними рідинами визначаються з нерівностей (1.6) і (1.7):

$$\varphi_{p.без} \leq 0,9 \cdot (\varphi_n - 0,0021),$$

або

$$\varphi_{p.без} \geq 1,1 \cdot (\varphi_v + 0,0042),$$

Вибухобезпечні умови експлуатації апаратів, що «дихають», визначаються лише за нерівністю (1.6):

$$\varphi_{p.без} \leq 0,9 \cdot (\varphi_n - 0,0021),$$

оскільки, в процесі експлуатації при зниженні рівня продукту або температури навколишнього середовища в апарати через дихальні пристрої надходить повітря, яке розводить «багаті» суміші з $\varphi_p > \varphi_v$ та призводить до утворення вибухонебезпечного середовища.

3. Якщо концентрація пари у вільному просторі апарата з вибухопожежонебезпечною рідиною є насиченою та залишається незмінною за час його експлуатації, то умову утворення ВНК визначають таким чином:

$$t_n \leq t_p \leq t_v, \quad (1.12)$$

де: t_n , t_v – відповідно верхня та нижня температурні межі розповсюдження полум'я, [°C], приведені у табл.1 додатків; t_p – робоча температура, [°C].

Вибухопожежонебезпечні температурні умови експлуатації апаратів в цьому випадку визначають зі співвідношень:

$$t_{p.без.} \leq \frac{B}{A - \lg \left[0,9 \cdot 10^{-3} (\varphi_n - 0,0021) P_o \right]} - C_A, \quad (1.13)$$

або

$$t_{p.без.} \geq \frac{B}{A - \lg \left[1,1 \cdot 10^{-3} (\varphi_n + 0,0042) P_o \right]} - C_A \quad (1.14)$$

4. При експлуатації апаратів з відкритою поверхнею випаровування (фарбувальні, гартувальні, просочувальні ванни, посудини для миття виробів) вибухопожежонебезпечна концентрація пари над відкритою поверхнею пожежонебезпечної рідини утворюється за умови:

$$t_p \geq t_{cn}, \quad (1.15)$$

де: t_{cn} – температура спалаху пожежонебезпечної рідини, [°C] (приведена у табл.1 додатків).

Вибухобезпечні умови експлуатації відкритих апаратів визначають зі співвідношення:

$$t_{p.без.} \leq t_{cn} - 35^\circ C \quad (1.16)$$

5. Концентраційні межі розповсюдження полум'я газових чи парових сумішей, які складаються з горючих і негорючих компонентів, обчислюють за формулами:

$$\varphi_{n,c} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{\varphi_{n,i}}}, \quad (1.17)$$

$$\varphi_{v,c} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{\varphi_{v,i}}} \quad (1.18)$$

де: $\varphi_{n,c}, \varphi_{v,c}$ – відповідно нижня та верхня концентраційні межі розповсюдження полум'я суміші, [об.частки]; φ_i – об'ємна частка і-го компонента в суміші, [об.частки]; φ_n та φ_v – відповідно нижня та верхня концентраційні межі розповсюдження полум'я і-го компонента, [об. частки]; n – кількість горючих компонентів в суміші.

Температурні межі розповсюдження полум'я пожежонебезпечних рідин при атмосферному тиску можна перерахувати в концентраційні (або навпаки) за формулою:

$$t_{np} = \frac{B}{A - \lg(10^{-3} \cdot \varphi_{np} \cdot P_o)} - C_A, \quad (1.19)$$

де: t_{np} – температурна межа розповсюдження полум'я (нижня або верхня), [°C].

Значення температурних меж розповсюдження полум'я пожежонебезпечних рідин при робочому тиску P_p , який знаходиться в інтервалі від $0,1 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^5$ Па, перераховують за формулою:

$$t_{np.p.} = \frac{B}{\frac{B}{C_A + t_{np.am.}} \pm \lg(10^{-5} P_p)} - C_A, \quad (1.20)$$

де: індекс «р» означає, що показник відноситься до робочого тиску, а індекс «ат» – до атмосферного; знак «+» в знаменнику ставиться при розрахунку нижньої температурної межі, а знак «-» – при розрахунку верхньої температурної межі.

Аналогічно можна перерахувати температуру спалаху рідини (в знаменнику знак «+»)

6. В апаратах часто знаходяться не індивідуальні пожежонебезпечні рідини, а їх розчини (в тому числі і водні). У такому випадку тиск насичених парів компонентів над розчином визначають за законом Рауля (для ідеальних розчинів):

$$P_{si}^* = P_{si} \cdot X_i, \quad (1.21)$$

де: P_{si}^* – парціальний тиск і-го компонента над розчином, [Па]; P_{si} – тиск насиченої пари чистого і-го компонента при даній температурі, [Па]; X_i – мольна частка і-го компонента в розчині, яка залежить від його відносного вмісту.

Відносний вміст компонентів в розчині визначається за формулою:

$$\varphi_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (1.22)$$

$$\text{або} \quad C_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.23)$$

де: φ_i, C_i – відповідно об'ємна і масова частки i -го компонента в розчині;
 V_i – об'єм i -го компонента в розчині, [м³]; m_i – маса i -го компонента в розчині, [кг]; n – число компонентів в розчині.

Перерахунок відносного об'ємного чи масового вмісту компонентів в розчині в мольні частки для бінарних розчинів, що містять компоненти А і Б, здійснюється за формулами:

$$C_A = \frac{\varphi_A \cdot \rho_A}{\varphi_A \cdot \rho_A + (1 - \varphi_A) \cdot \rho_B} \quad (1.24)$$

$$X = \frac{\frac{C_A}{M_A}}{\frac{C_A}{M_A} + \frac{1 - C_A}{M_B}}, \quad (1.25)$$

де: φ_A і φ_B – об'ємні частки відповідно компонентів А і Б в розчині, $\varphi_B = 1 - \varphi_A$; ρ_A і ρ_B – густина чистих компонентів А і Б (табл.4 додатків), [кг/м³]; C_A і C_B – масові частки відповідно компонентів А і Б в розчині, $C_B = 1 - C_A$; M_A і M_B – молекулярні маси чистих компонентів А і Б, [кг/кмоль]; X_A і X_B – мольні частки відповідно компонентів А і Б в розчині, $X_B = 1 - X_A$.

Формули для переведення масових часток компонентів в газових сумішах в об'ємні частки, а також для визначення густини, молекулярної маси і газової сталої суміші парів чи газів приведені в табл.3 додатків.

7. У процесах переробки, транспортування кускових або розмелених твердих горючих речовин, а також при їх обробці утворення вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей відбувається, якщо дійсне співвідношення:

$$\varphi_p \geq \varphi_n, \quad (1.26)$$

де: φ_p – фактична (робоча) концентрація пилу в апараті або приміщенні з урахуванням завислого та осілого пилу, [кг/м³]; φ_n – нижня концентраційна межа поширення полум'я, [кг/м³].

Дійсну концентрацію пилу в апараті можна обчислити за формулою:

$$\varphi_p = \varphi_{зв} + \varphi_{ос}, \quad (1.27)$$

де: $\varphi_{зв}$ – концентрація завислого пилу в апараті, [кг/м³]; $\varphi_{ос}$ – концентрація осілого пилу в апараті, [кг/м³], який може перейти у завислий стан; визначається за формулами:

$$\varphi_{ос} = \frac{m_{ос}}{V_в}, \text{ або } \varphi_{ос} = \frac{I_{відкл.} \cdot \tau}{V_в}, \quad (1.28)$$

де: $I_{відкл.}$ – інтенсивність утворення відкладень пилу, [кг/с]; τ – тривалість роботи апарата, [с]; $V_в$ – вільний об'єм апарата, [м³]; $m_{ос}$ – маса осілого пилу в апараті, [кг].

Вибухобезпечні умови експлуатації апаратів з горючим пилом визначають зі співвідношення:

$$\varphi_{р.без} \leq \frac{\varphi_n}{K_{б.н.}}, \quad (1.29)$$

де: $K_{б.н.}$ – коефіцієнт безпеки (запасу надійності), $K_{б.н.} \geq 2$.

Для флегматизації горючих газопароповітряних сумішей у виробничих апаратах використовують інертні гази: діоксид вуглецю, азот, водяну пару (при температурі середовища в апараті вище 100 °С), аргон та інші.

Гранично допустиму вибухопожежобезпечну концентрацію флегматизатора обчислюють за формулою:

$$ГДВК_\phi = K_{б.ф.} \cdot \varphi_\phi, \quad (1.30)$$

де: $K_{б.ф.}$ – коефіцієнт запасу надійності, який визначається таким чином:

$$\text{при } \varphi_\phi > 0,15 \text{ об.ч. } K_{б.ф.} = 1,2;$$

$$\text{при } \varphi_\phi \leq 0,15 \text{ об.ч. } K_{б.ф.} = 1,5;$$

φ_ϕ – мінімальна флегматизуюча концентрація флегматизатора, [об.ч.]; для суміші парів і газів її можна визначити за формулою:

$$\varphi_\phi = 1 - 4,774 \cdot \varphi_{\phi, O_2}, \quad (1.31)$$

де: φ_{ϕ, O_2} – мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню, величину якого можна обчислити за формулою:

$$\varphi_{\phi, O_2} = \beta \cdot \varphi_n, \quad (1.32)$$

де: β – стехіометричний коефіцієнт при кисні в рівнянні при згорянні 1 моля горючої речовини.

Значення мінімальної флегматизуючої концентрації при температурі середовища, яка відрізняється від 25 °С, можна визначити за формулою:

$$\varphi_{\phi} = \varphi_{\phi,25} \cdot \left(1 + \frac{t_p - 25}{1100} \right) \quad (1.33)$$

Кількість інертного газу, який необхідний для флегматизації горючої суміші в апараті, визначається за формулою:

$$V_{\phi} = ГДВК_{\phi} \cdot V_{\phi} \quad , \quad (1.34)$$

де: V_{ϕ} – кількість інертного газу, який подається в апарат, [м³]; V_{ϕ} – вільний об'єм апарата, який займає парогазоповітряна суміш, [м³].

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1.1. Область розповсюдження полум'я метилового спирту при 25 °С становить (0,0698 – 0,355) об.частки (див. табл.1 додатків). Визначити область розповсюдження полум'я спиртоповітряної суміші, нагрітої до 350 °С.

Розв'язок. Нижню концентраційну межу розповсюдження полум'я метанолу при даній температурі визначаємо за формулою (1.2):

$$\varphi_n = \varphi_{n,25} \left(1 - \frac{t_p - 25}{1250} \right) = 0,0698 \left(1 - \frac{350 - 25}{1250} \right) = 0,052 \text{ об.ч.}$$

Верхню концентраційну межу розповсюдження полум'я метанолу при температурі 350 °С визначаємо за формулою (1.3):

$$\varphi_{\phi} = \varphi_{\phi,25} \left(1 + \frac{t_p - 25}{800} \right) = 0,355 \left(1 + \frac{350 - 25}{800} \right) = 0,499 \text{ об.ч.}$$

Відповідь. Область розповсюдження полум'я спиртоповітряних сумішей, нагрітих до 350 °С, становить (0,052 – 0,499) об.частки.

Задача 1.2. Виходячи з умов безпечного проведення технологічного процесу, визначити витрату окисника (кисню), який подається в апарат для приготування суміші з н-бутаном. Продуктивність змішувача становить 0,5 м³/с за бутано-кисневою сумішшю. Тиск у змішувачі близький до атмосферного, температура процесу 25 °С.

Розв'язок. Вибухобезпечні концентрації н-бутану при експлуатації змішувача визначаємо за формулами (1.6) і (1.7):

$$\varphi_{p.без} \leq 0,9(\varphi_n - 0,0021) = 0,9(0,018 - 0,0021) = 0,014 \text{ об.ч.},$$

або

$$\varphi_{p.без} \geq 1,1(\varphi_{\phi} + 0,0042) = 1,1(0,49 + 0,0042) = 0,546 \text{ об.ч.}$$

У приведених формулах 0,018 і 0,49 об.ч. – відповідно нижня і верхня концентраційна межі розповсюдження полум'я н-бутану з киснем.

Перетворимо вираз (1.5) згідно з вимогами умови задачі, коли $\varphi_p = \varphi_{p,без}$:

$$G_{ок.} = (G_2 + G_{ок.})(1 - \varphi_{p,без}) .$$

Однак, за умовою $(G_2 + G_{ок.}) = 0,5 \text{ м}^3 / \text{с}$.

$$\text{Тоді } G_{ок.} = 0,5(1 - \varphi_{p,без}) .$$

Підставляючи обчислені вибухобезпечні значення робочих концентрацій н-бутану в отримані вирази, можна визначити витрату кисню:

$$G_{ок.без.} > 0,5(1 - \varphi_{p,без}) = 0,5(1 - 0,14) = 0,493 \text{ м}^3 / \text{с}$$

або

$$G_{ок.без.} < 0,5(1 - \varphi_{p,без}) = 0,5(1 - 0,546) = 0,227 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Верхню концентраційну межу розповсюдження полум'я метанолу при температурі 350 °С визначаємо за формулою (1.3):

$$\varphi_e = \varphi_{e,25} \left(1 + \frac{t_p - 25}{800} \right) = 0,355 \left(1 + \frac{350 - 25}{800} \right) = 0,499 \text{ об.ч.}$$

Відповідь. Вибухобезпечність технологічного процесу (при заданій продуктивності змішувача за бутанокисневою сумішшю) забезпечується при виконанні таких умов:

- 1) витрата окисника (кисню) повинна перевищувати 0,493 м³/с
- або
- 2) витрата окисника (кисню) повинна бути меншою 0,227 м³/с.

Задача 1.3. Перерахувати значення нижньої концентраційної межі розповсюдження полум'я толуолу з об. часток в кг/м³. Робочий тиск пароповітряної суміші в апараті – атмосферний, температура 30 °С.

Розв'язок. За таблицею 1 додатків знаходимо для толуолу

$$\varphi_n = 0,0127 \text{ об.ч. і } M_m = 91,14 \text{ кг / кмоль} .$$

Молярний об'єм пари при робочих умовах визначаємо за формулою (1.11):

$$V_t = V_o \frac{t_p + 273}{273} \cdot \frac{P_o}{P_{заг}} = 22,4135 \frac{30 + 273}{273} = 24,88 \text{ м}^3 / \text{кмоль}.$$

Нижню концентраційну межу розповсюдження полум'я толуолу визначаємо за формулою (1.10):

$$\varphi_n^* = \frac{M \cdot \varphi_n}{V_t} = \frac{91,14 \cdot 0,0127}{24,88} = 0,047 \text{ кг / м}^3.$$

Відповідь. Нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я толуолу становить $\varphi_n^* = 0,047 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Задача 1.4. Визначити концентрацію насиченої пари над розчином етилового спирту в бензолі при 40°C і атмосферному тиску в апараті. В розчині міститься 50 л етилового спирту і 120 л бензолу.

Розв'язок. Відносний об'ємний вміст компонентів в розчині визначаємо за формулою (1.22):

$$\text{для етилового спирту: } \varphi_c = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{50}{50+120} = 0,294 \text{ об.ч.};$$

$$\text{для бензолу: } \varphi_b = 1 - 0,294 = 0,706 \text{ об.ч.}$$

За табл. 4 додатків знаходимо густину компонентів розчину при робочій температурі:

$$\text{для етилового спирту: } \rho_c = 772,2 \text{ кг} / \text{м}^3,$$

$$\text{для бензолу: } \rho_b = 857,6 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Відносний масовий вміст компонентів в розчині визначаємо за формулою (1.24):

для етилового спирту:

$$C_c = \frac{\varphi_c \cdot \rho_c}{\varphi_c \cdot \rho_c + (1 - \varphi_c) \cdot \rho_b} = \frac{0,294 \cdot 772,2}{0,294 \cdot 772,2 + (1 - 0,294) \cdot 857,6} = 0,273 \text{ м.ч.},$$

$$\text{для бензолу: } C_b = 1 - 0,273 = 0,727 \text{ м.ч.}$$

Мольну частку компонентів в розчині визначаємо за формулою (1.25):
для етилового спирту:

$$X_c = \frac{\frac{C_c}{M_c}}{\frac{C_c}{M_c} + \frac{1 - C_c}{M_b}} = \frac{\frac{0,273}{46,07}}{\frac{0,273}{46,07} + \frac{1 - 0,273}{78,11}} = 0,388 \text{ ч. моль};$$

для бензолу:

$$X_b = 1 - 0,388 = 0,612 \text{ ч. моль.}$$

У приведених формулах $46,07 \text{ кг/кмоль}$ і $78,11 \text{ кг/кмоль}$ – молекулярні маси відповідно етилового спирту і бензолу (див.табл.1 додатків).

Тиск насичених парів чистих компонентів при 40°C (313 K) визначаємо за табл.2 додатків:

для етилового спирту:

при $T=308\text{ К}$ $P_s=13332,2\text{ Па}$,

при $T=321,6\text{ К}$ $P_s=26664,4\text{ Па}$.

Отже, при $T=313\text{ К}$

$$P_{sc} = 13332,2 + (313 - 308) \frac{26664,4 - 13332,2}{321,6 - 308} = 18233,75\text{ Па}$$

для бензолу:

при $T=299,8\text{ К}$ $P_s=13332,2\text{ Па}$,

при $T=315,4\text{ К}$ $P_s=26664,4\text{ Па}$.

Отже, при $T=313\text{ К}$

$$P_{sc} = 13332,2 + (313 - 299,8) \frac{26664,4 - 13332,2}{315,4 - 299,8} = 24613,29\text{ Па}$$

Парціальний тиск парів компонентів над розчином визначаємо за формулою (1.21):

для етилового спирту:

$$P_{sc}^* = P_{sc} \cdot X_c = 18233,75 \cdot 0,388 = 7074,7\text{ Па}$$

$$\text{для бензолу: } P_{sб}^* = P_{sб} \cdot X_б = 24613,29 \cdot 0,612 = 15063,3\text{ Па}$$

Сумарний тиск насиченої пари над розчином:

$$P_s = 7074,7 + 15063,3 = 22138,0\text{ Па}.$$

Концентрацію насиченої пари над розчином етилового спирту в бензолі визначаємо за формулою (1.8):

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_{заг}} = \frac{22138}{1 \cdot 10^5} = 0,221\text{ об.ч. або } 22,1\% \text{ об.}$$

Відповідь. Концентрація насиченої пари над розчином етилового спирту в бензолі становить $\varphi_s = 0,221\text{ об.ч. або } 22,1\% \text{ об.}$

Задача 1.5. Розрахунково обґрунтувати, що всередині резервуара з етилацетатом при $20\text{ }^\circ\text{C}$ утворюється вибухонебезпечна концентрація пари.

Розв'язок. За табл.1 додатків знаходимо температурні межі розповсюдження полум'я етилацетату:

$t_n = -6^\circ\text{C}$, $t_v = 28^\circ\text{C}$.

Підставляємо чисельні значення величин у вираз (1.12):

$$t_n \leq t_p \leq t_v, \\ (t_n = -6^\circ\text{C}) < (t_p = 20^\circ\text{C}) < (t_v = 28^\circ\text{C}),$$

Умова утворення вибухонебезпечного середовища виконується.

Відповідь. У пароповітряному просторі резервуара при $20\text{ }^\circ\text{C}$ утворюється вибухонебезпечна концентрація пари етилацетату.

Задача 1.6. Визначити нижню температурну межу розповсюдження полум'я етиленгліколю при атмосферному тиску.

Розв'язок. З довідника [14] знаходимо константи Антуана (1.9) і значення нижньої концентраційної межі розповсюдження полум'я:

$$A=8,13754; B=2753,183; C_A=252,009; \varphi_n = 0,043 \text{ об.ч.}$$

Нижню температурну межу розповсюдження полум'я етиленгліколю визначаємо за формулою (1.19):

$$t_n = \frac{B}{A - \lg(10^{-3} \varphi_{np} P_o)} - C_A =$$

$$= \frac{2753,183}{8,13754 - \lg(0,043 \cdot 1 \cdot 10^5)} - 252,009 = 115 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Відповідь. Нижня температурна межа розповсюдження полум'я етиленгліколю при атмосферному тиску становить 115°C.

Задача 1.7. Визначити верхню концентраційну межу розповсюдження полум'я побутового (паливного) газу, який має такий склад (середній) в % об.: метан – 74,2; етан – 15,1; пропан – 8,5; бутан – 0,6; азот – решта.

Розв'язок. За табл.1 додатків знаходимо значення верхніх концентраційних меж розповсюдження полум'я компонентів газу (об.ч.):

$$\varphi_{в \text{ метан}} = 0,141 \text{ об.ч.}, \quad \varphi_{в \text{ етан}} = 0,15 \text{ об.ч.}, \quad \varphi_{в \text{ пропан}} = 0,094 \text{ об.ч.},$$

$$\varphi_{в \text{ бутан}} = 0,091 \text{ об.ч.}$$

Верхню концентраційну межу розповсюдження полум'я побутового газу визначаємо за формулою (1.18):

$$\varphi_{в,с} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_{в,i}} = \frac{0,742 + 0,151 + 0,085 + 0,006}{\frac{0,742}{0,141} + \frac{0,151}{0,15} + \frac{0,085}{0,094} + \frac{0,006}{0,091}} = 0,1303 \text{ об.ч.}$$

Відповідь. Верхня концентраційна межа розповсюдження полум'я побутового газу становить 0,1303 об.ч. або 13,03 % об.

Задача 1.8. Яка мінімальна кількість осілого пилу поліпропілену повинна нагромадитися в циклоні, щоб при його звихренні могла утворитися вибухонебезпечна концентрація у всьому об'ємі апарата? Об'єм циклону 1,2 м³.

Розв'язок. За довідником нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я поліпропілену дорівнює 40 г/м³.

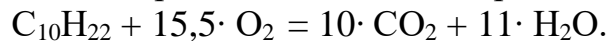
Використовуючи вираз (1.28), визначаємо масу осілого пилу в циклоні у випадку, якщо $\varphi_{oc.} = \varphi_{н.}$.

$$m_{oc} = \varphi_{н.} \cdot V_{г} = 40 \cdot 1,2 = 48 \text{ г.}$$

Відповідь. У циклоні повинно нагромадитися 48 г пилу поліпропілену.

Задача 1.9. Визначити мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню в пароповітряній суміші, яка зафлегматизована азотом. Горюча речовина н-декан.

Розв'язок. Складаємо рівняння повного згоряння 1 моля н-декану:



Стехіометричний коефіцієнт при кисні $\beta=15,5$.

Визначаємо мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню за формулою (1.32):

$$\varphi_{\phi, O_2} = \beta \cdot \varphi_{н.} = 15,5 \cdot 0,007 = 0,1085 \text{ об.ч.}$$

Відповідь. Мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню 10,85 % об.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

1.1. За умовами проведення технологічного процесу в змішувач надходить горючий газ та повітря. Вид горючого, витрати компонентів ($G_{г}$ і $G_{ок}$) і температура (t_p) утвореної суміші приведені в табл. 1.1. Дати висновок про горючість газоповітряної суміші в апараті за умови, що тиск в системі не змінюється і близький до атмосферного.

Таблиця 1.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	ацетилен	аміак	н-бутан	водень	метан	оксид вуглець	пропан	сірко-водень	етан	етилен
$G_{г}$, м ³ /год	200	400	300	80	350	550	150	300	200	200
$G_{ок}$, м ³ /год	8000	1200	3000	2000	7000	4000	1200	370	1200	400
t_p , °C	140	400	200	350	250	500	250	180	300	280

1.2. Запропонувати вибухобезпечний концентраційний режим експлуатації газового змішувача (початкові дані приведені в табл.1.1) з урахуванням температури в апараті, яка змінюється від 25 °C (запуск апарата в роботу) до t_p .

1.3. Визначити значення нижньої та верхньої меж поширення полум'я для горючого газу при температурі 250 °С. Вид горючого газу наведено у таблиці 1.1.

1.4. Технологічний процес освітлення продукту (пожежонебезпечної рідини) проводиться у відстійнику з дихальним пристроєм при постійній температурі. Дати висновок про горючість пароповітряної суміші, якщо відомо, що рівень продукту в апараті періодично змінюється. Вид продукту і його температура приведені в табл.1.2.

Таблиця 1.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	бутилацетат	н-бутиловий спирт	хлорбензол	оцтова кислота	бутилацетат	н-бутиловий спирт	н-ундекан	оцтова кислота	хлорбензол	н-ундекан
Робоча температура t_p , °С	40	50	30	30	60	75	40	50	65	80

Примітка. При розв'язанні задачі необхідно врахувати розведення насиченої пароповітряної суміші повітрям, яке надходить у відстійник через зниження в ньому рівня продукту.

1.5. Технологічний процес фільтрації готового продукту (пожежонебезпечної рідини) проводиться у фільтрі, який працює під вакуумом або надлишковим тиском. Температура продукту і його рівень в апараті протягом всього процесу фільтрації підтримується постійним. Дати рекомендації про вибухобезпечний температурний режим проведення процесу фільтрації при робочому тиску пароповітряної суміші в апараті і визначити граничний тиск, нижче за який пароповітряна суміш не має концентраційних меж поширення полум'я. Вид продукту і робочий (абсолютний) тиск процесу приведені в табл.1.3.

Таблиця 1.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	н-бутиловий спирт	н-декан	н-додекан	етилбензол	н-нонан	стирол	оцтова кислота	н-ундекан	етилцелозольв	бутилацетат
Тиск, кПа	90	70	150	130	120	80	140	110	90	120

Примітка. При розв'язанні задачі необхідно використати формулу (1.19) для перерахунку показників пожежної небезпеки продукту з врахуванням фактичного тиску пароповітряної суміші.

1.6. В технологічному процесі приготування лакофарбних матеріалів використовуються розчинники, які складаються з двох компонентів. Дати висновок про можливість утворення вибухонебезпечного середовища в збірнику місткістю 2 м³ з розчинниками, які зберігаються тривалий час (збірник обладнано дихальним пристроєм). Вміст компонентів розчинника в посудині та технологічні параметри процесу зберігання приведені в табл.1.4 (тиск в посудині – атмосферний).

Таблиця 1.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вміст компонентів	бензол 400 кг толуол 600 кг	бензол 500 кг толуол 500 кг	толуол 800 кг ацетон 200 кг	толуол 700 кг ацетон 300 кг	ацетон 200 кг пропанол 800 кг	ацетон 250 кг пропанол 750 кг	толуол 450 кг етанол 550 кг	толуол 600 кг етанол 400 кг	бензол 200 кг пропанол 800 кг	бензол 200 кг пропанол 800 кг
Тиск, кПа	30	35	25	20	30	20	15	10	25	35

1.7. На станції технічного обслуговування автомобілів миття деталей двигунів машин (перед складанням) здійснюють у відкритій ванні з миючим засобом (пожежонебезпечною рідиною). Дати рекомендації щодо зменшення пожежонебезпеки цієї технологічної операції. Вид миючого засобу і його максимальну температуру у ванні (t_p) прийняти згідно з табл.1.5.

Таблиця 1.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	н-пентадекан	н-додекан	н-тетрадекан	н-ундекан	н-тридекан	гас КО-22	дизельне паливо «Л»	уайт-спірит	н-нонан	н-гексадекан
Температура рідини t_p , °С	<70	<60	<100	<30	<70	<40	<50	<20	<30	<120

1.8. В процесі подрібнення горючого кускового матеріалу утворюється пил, який вилучається з внутрішнього простору дробарок місцевою витяжкою. Провести оцінку можливості утворення вибухонебезпечної пилоповітряної суміші в колекторі магістрального повітроводу системи аспірації (з врахуванням завислого і осілого пилу). Визначити тривалість безпечної експлуатації системи аспірації, якщо $K_6=20$. Дані для розрахунку приведені в табл.1.6. Концентрація пилу у повітрі, яке витягується, не перевищує 10% нижньої концентраційної межі поширення полум'я. Об'єм колектора – 10 м^3 , інтенсивність утворення відкладень пилу – $1,2 \text{ кг/год}$.

Таблиця 1.6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий матеріал	Донецьке вугілля		Сірчаний колчедан		Вугілля Львівсько-Волинського вугільного басейну		Сірка		Каніфоль	
Об'єм колектора, м^3	35	70	100	250	40	80	20	60	15	30
Інтенсивність утворення відкладень пилу, $\text{г/с} \cdot 10^3$	40	25	200	120	50	100	30	10	20	80
$\varphi_{\text{н}}, \text{г/м}^3$	280		50,1		114		2,3		12,6	

Примітка. При визначенні тривалої безпечної експлуатації системи аспірації необхідно використовувати формули (1.27) і (1.29).

1.9. На підприємстві витратна посудина з пожежонебезпечною рідиною під'єднана до системи азотного дихання. Концентрація азоту в системі знаходиться в межах 55-60% об. (решта – повітря і пари рідини). Провести аналіз можливості утворення вибухонебезпечної концентрації в посудині, а також обґрунтувати розрахунком вибухонебезпечну концентрацію інертного газу (азоту) і визначити його кількість, яка необхідна для флегматизації середовища в посудині з пожежонебезпечною рідиною. Вид пожежонебезпечної рідини, температура середовища в апараті (t_c), а також вільний об'єм апарата взяти з табл.1.7.

Таблиця 1.7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	ацетилен	аміак	н-бутан	водень	метан	оксид вуглецю	пропан	сірко-водень	етан	етилен
Температура t_c , °C	40	85	50	55	70	45	20	100	35	30
Вільний об'єм апарата, м ³	0,8	2,5	2,0	1,5	1,2	1,0	1,8	2,2	1,7	0,9

1.2. ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ВИХОДУ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН ІЗ СПРАВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТІВ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Зі справних апаратів, обладнаних дихальними пристроями, з апаратів з відкритою поверхнею випаровування, а також із апаратів, які працюють під підвищеним тиском, горючі речовини виходять назовні в кількості, яка здатна утворювати не тільки місцеві, але й загальнооб'ємні вибухонебезпечні суміші в виробничих приміщеннях. При встановленні апаратів на відкритих майданчиках поблизу місць виходу горючих парів й газів можуть утворюватися місцеві зони вибухонебезпечних концентрацій. Необхідною умовою утворення вибухонебезпечних концентрацій поза апаратами з легкозаймистими та горючими рідинами є виконання умови (1.15):

$$t_p \geq t_{cn} ,$$

де: t_p – робоча температура пожежонебезпечної рідини, [°C]; t_{cn} – температура спалаху пожежонебезпечної рідини, [°C].

Або для всіх класів горючих речовин (газів, рідин, пилу або волокон) повинна виконуватися умова (1.25):

$$\varphi_p \geq \varphi_n ,$$

де: φ_p – фактична (робоча) концентрація горючої речовини поза апаратом, [% об.], [об. частки], [кг/м³]; φ_n – нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я, [об. частки], [% об.] або [кг/м³].

1. Інтенсивність витікання парів та газів з герметичного обладнання, яке працює під тиском, через капілярні канали в прокладках, сальниках, зварних швах та інших місцях на апаратах і трубопроводах, визначають за формулою:

$$I_p = K_c \cdot K_p \cdot V_v \cdot \sqrt{\frac{M}{t_p + 273}} , \quad (2.1)$$

де: I_p – інтенсивність виходу парів або газів з апарата, який працює під тиском, [кг/с]; K_c – коефіцієнт, який враховує ступінь спрацювання обладнання, змінюється залежно від стану обладнання (1 – нове обладнання, 2 – спрацьоване обладнання); K_p – коефіцієнт, який залежить від тиску середовища в апараті (табл. 6 дод.); V_v – внутрішній вільний об'єм обладнання, заповнений паром або газом під тиском, [м³].

2. Кількість пари рідини, яка виходить з апарата в атмосферу при його «диханні», визначається за формулою:

$$G_n = \left[\frac{V_1 \cdot (1 - \varphi_1) \cdot P_1}{t_1 + 273} - \frac{V_2 \cdot (1 - \varphi_2) \cdot P_2}{t_2 + 273} \right] \cdot \frac{\varphi_{cp}}{1 - \varphi_{cp}} \cdot \frac{M}{8314,31} , \quad (2.2)$$

де: G_n – кількість пари рідини, яка виходить за один цикл «дихання», [кг/цикл]; V_1, V_2 – об’єм газового простору відповідно на початку та в кінці «дихання», [м³]; φ_1, φ_2 – концентрація насичених парів рідини відповідно при температурах t_1, t_2 , [об. частки]; P_1, P_2 – тиск середовища в апараті відповідно на початку та в кінці «дихання», [Па]; $\varphi_{cp} = (\varphi_1 + \varphi_2) / 2$ – середня концентрація насиченої пари в апараті, [об.частки]; 8314,31 Дж / (кмоль · К) – універсальна газова стала.

3. Кількість горючої пари, яка виходить з технологічних апаратів з дихальною арматурою при їх заповненні рідиною (велике дихання), визначається за формулою:

$$G_g = \Delta V_p \cdot \frac{P_p}{t_p + 273} \cdot \varphi_s \cdot \frac{M}{8314,31} \quad (2.3)$$

де: G_g – кількість пари, яка виходить з заповненого апарата при великому диханні, [кг/цикл]; ΔV_p – об’єм рідини, яка надходить в апарат, [м³]; величину ΔV_p визначають за формулою:

$$\Delta V_p = \varepsilon \cdot V_{an} ,$$

де: ε – ступінь заповнення апарата; V_{an} – геометричний об’єм апарата, [м³];

P_p – робочий тиск в апараті, [Па]; φ_s – концентрація насичених парів, [об. частки]; t_p – робоча температура, [°C]; M – молекулярна маса рідини, [кг/кмоль]; 8314,31 Дж / (кмоль · К) – універсальна газова стала.

Концентрація насичених парів над поверхнею рідини визначається за формулою (1.8):

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_{zag}} ,$$

де: P_s – тиск насиченої пари при заданій температурі, [Па], P_{zag} – загальний тиск системи (робочий тиск у герметичному апараті або барометричний тиск в апараті, який з’єднується з атмосферою), [Па].

Тиск насиченої пари при робочій температурі рідини визначається за експериментальними даними або за формулами, наприклад, рівнянням Антуана (1.9):

$$P_s = 133,322 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A} \right)} ,$$

де: A, B, C_A – константи, які залежать від властивостей горючої рідини. Значення констант A, B, C_A деяких пожежонебезпечних рідин наведені в табл. 27, 28 додатків або визначаються за довідковою літературою; t_p – робоча температура рідини, [°C].

4. Кількість горючої пари, яка виходить з технологічних апаратів з дихальною арматурою при зміні температури в газовому просторі (мале «дихання»), визначається за формулою:

$$G_m = V_v \cdot P_p \cdot \left(\frac{1 - \varphi_1}{t_1 + 273} - \frac{1 - \varphi_2}{t_2 + 273} \right) \cdot \frac{\varphi_{cp}}{1 - \varphi_{cp}} \cdot \frac{M}{8314,31}, \quad (2.4)$$

де: G_m – кількість пари, яка виходить із заповненого апарата при малому диханні, [кг/цикл]; φ_1 – концентрація насичених парів рідини при температурі t_1 , [об. частки]; φ_2 – концентрація насичених парів рідини при температурі t_2 , [об. частки]; t_1, t_2 – початкова та кінцева температури, [°C]; φ_{cp} – середня концентрація насичених парів в апараті, [об. частки]; V_v – вільний об'єм в апараті, [м³]; P_p – робочий тиск, [Па]; M – молекулярна маса рідини, [кг/кмоль]; $8314,31$ Дж / (кмоль · К) – універсальна газова стала.

5. Кількість горючої пари, яка виходить з періодично діючих апаратів при їх розгерметизації (наприклад, при відкриванні кришки люка) за умови, що тиск в апараті вище атмосферного, визначається за формулою:

$$G_n = V_v \cdot \frac{\varphi_s}{t_p + 273} \cdot (P_p - P_{бар}) \cdot \frac{M}{8314,31}, \quad (2.5)$$

де: G_n – кількість пари, яка виходить із заповненого апарата при розгерметизації, [кг/цикл]; V_v – внутрішній вільний об'єм обладнання, заповнений паром або газом під тиском, [м³]; φ_s – концентрація насиченої пари в апараті, [об. частки]; t_p – робоча температура рідини, [°C]; P_p – робочий тиск в апараті, [Па]; $P_{бар}$ – атмосферний (барометричний) тиск, [Па]; M – молекулярна маса рідини, [кг/кмоль]; $8314,31$ – універсальна газова стала, [Дж/кмоль К].

6. Масу рідини, яка випаровується з її відкритої поверхні в нерухоме середовище, визначають за формулою:

$$m_v = 1,155 \cdot \varphi_s \cdot \rho_t \cdot F_v \cdot \sqrt{\frac{D_t \cdot \tau}{1 - \varphi_s}}, \quad (2.6)$$

де: m_v – маса рідини, яка випаровується з відкритої поверхні в нерухоме середовище, [кг]; ρ_t – густина пари рідини при робочій температурі, [кг/м³]; F_v – поверхня випаровування, [м²]; D_t – коефіцієнт дифузії пари при робочій температурі, [м²/с]; τ – тривалість випаровування, [с].

7. Масу пари рідини, що випаровується з відкритої поверхні апаратів в нерухоме та рухоме середовище, $[кг]$, визначається за формулою:

$$m_{\text{вип}} = W \cdot F \cdot \tau, \quad (2.7)$$

де: W – інтенсивність випаровування рідини, $[кг/с \cdot м^2]$; F – площа випаровування рідини, $[м^2]$; τ – тривалість випаровування рідини, $[с]$.

Інтенсивність випаровування рідини, $[кг/с \cdot м^2]$, визначається за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M \cdot P_s}, \quad (2.8)$$

де: η – табличний коефіцієнт (див. табл. 7 додатків), який залежить від температури та швидкості повітряного потоку над поверхнею випаровування. При випаровуванні в нерухоме середовище приймається за 1,0. M – молекулярна маса; P_s – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини, $[кПа]$.

8. Величину коефіцієнта дифузії пари або газу в повітрі при робочій температурі t_p визначають за формулою:

$$D_t = D_o \left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273} \right)^n, \quad (2.9)$$

де: D_o – значення коефіцієнта дифузії, наведене в довідковій літературі при температурі t_o , $[м^2/с]$ (табл. 1 додатків); n – показник степеня, приведений у довідковій літературі (табл. 1 додатків).

Густина пари рідини при робочій температурі визначають за формулою:

$$\rho_t = \frac{M}{V_t}, \quad (2.10)$$

9. Масу парів, які надходять в виробниче приміщення з герметичних апаратів, що “дихають” або таких, що відкриваються при розвантаженні продукту, визначають за формулою:

$$m_n = \frac{G_i \cdot N \cdot \tau}{3600}, \quad (2.11)$$

де: m_n – маса парів, які надходять у приміщення з періодично діючих апаратів, $[кг]$; G_i – кількість парів, які надходять у приміщення (за 1 цикл великого або малого «дихання», чи при розгерметизації апарата), $[кг/цикл]$; N – кількість циклів (операцій) протягом години, $[год^{-1}]$; τ – тривалість (період) роботи апарата, $[с]$.

При відомій інтенсивності масу пари або ж газів, які надходять з апарата за визначений період роботи обладнання, визначають за формулою:

$$m_p = I_p \cdot \tau, \quad (2.12)$$

де: m_p – маса пари або газів, які надходять з апаратів, що працюють під тиском, [кг].

10. Концентрацію горючих речовин у повітрі виробничого приміщення з урахуванням того, що інтенсивність їх виділення з апаратів відносно мала, а самі речовини рівномірно розподіляються у всьому об'ємі приміщення, визначають за формулами:

за відсутності повітрообміну в приміщенні:

$$\varphi_\partial = \frac{m}{V_B}, \quad (2.13)$$

за наявності повітрообміну в приміщенні:

$$\varphi_\partial = \frac{3600 \cdot m}{V_B \cdot A \cdot \tau}, \quad (2.14)$$

де: φ_∂ – дійсна концентрація горючих речовин у приміщенні, [кг/м³]; m – сумарна маса горючих речовин, які поступають у приміщення з апаратів, [кг]; V_B – вільний об'єм приміщення, який визначається з виразу:

$$V_\partial = 0,8 \cdot L \cdot B \cdot H, \quad (2.15)$$

де: L, B, H – відповідно довжина, ширина та висота приміщення, [м]; A – кратність вентиляції, [год⁻¹].

Гранично допустимі за умовами вибухонебезпечності значення дійсної концентрації горючих речовин в виробничому приміщенні (ГДВК) визначають із нерівності:

$$ГДВК \leq 0,2 \cdot \varphi_n, \quad (2.16)$$

11. Об'єм вибухонебезпечної зони біля апаратів з відкритою поверхнею випаровування, а також біля дихальної арматури технологічних апаратів, визначається за формулою:

$$V_z = \frac{m}{\varphi_n^*} \cdot K_\partial, \quad (2.17)$$

де: V_z – об'єм вибухонебезпечної зони, [м³]; φ_n^* – нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я, [кг/м³]. K_∂ – коефіцієнт запасу надійності, який, як правило, приймають рівним $K_\partial = 2$.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 2.1. Знайти значення коефіцієнта K_p у формулі (2.1), якщо тиск в апараті дорівнює 3 МПа.

Розв'язок. Приймаємо лінійний закон зміни величини K_p на обмеженому відрізку 1,7 – 4,1 МПа. Тоді для визначення коефіцієнта K_p при $P_p=3$ МПа використовуємо метод лінійної інтерполяції.

За табл. 6 додатків визначаємо значення коефіцієнта K_p на межах цього відрізка:

$$\text{при } P_p=17 \cdot 10^5 \text{ Па } K_p = 5,25 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{при } P_p=41 \cdot 10^5 \text{ Па } K_p = 6,94 \cdot 10^{-5}.$$

Отже, при $P_p=30 \cdot 10^5$ Па (3 МПа)

$$K_p = 5,25 \cdot 10^{-5} + (30 \cdot 10^5 - 17 \cdot 10^5) \cdot \frac{6,94 \cdot 10^{-5} - 5,25 \cdot 10^{-5}}{41 \cdot 10^5 - 17 \cdot 10^5} = 6,16 \cdot 10^{-5}$$

Відповідь. При тиску в апараті 3 МПа коефіцієнт $K_p = 6,16 \cdot 10^{-5}$.

Задача 2.2. Визначити молекулярну масу пароповітряної суміші над розчином етилового спирту в бензолі при 40 °С в стані насичення. Склад розчину: 50 л етанолу і 120 л бензолу (див. задачу 1.4). Тиск в апараті – атмосферний.

Розв'язок. Для визначення молекулярної маси суміші парів використовуємо формулу, яка приведена в табл.3 додатків:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \varphi_i$$

У задачі 1.4. визначений парціальний тиск пари етилового спирту і бензолу над розчином:

$$P_{sc}^* = 7074,7 \text{ Па} \quad ; \quad P_{sб}^* = 15063,3 \text{ Па} .$$

Молекулярні маси компонентів розчину беремо з табл.1 додатків:

для етилового спирту: $M_c=46,07$ кг/кмоль;

для бензолу: $M_б=78,11$ кг/кмоль.

Склад пароповітряної суміші знаходимо за формулою (1.8):

$$\text{для етилового спирту: } \varphi_{sc} = \frac{P_s}{P_{заг}} = \frac{7074,7}{1 \cdot 10^5} = 0,0708 \quad \text{об.ч.},$$

$$\text{для бензолу: } \varphi_{сб} = \frac{15063,3}{1 \cdot 10^5} = 0,1506 \quad \text{об.ч.}$$

для повітря:

$$\varphi_n = 1 - (\varphi_c + \varphi_б) = 1 - (0,0708 + 0,1506) = 0,7786 \quad \text{об.ч.}$$

Визначаємо молекулярну масу суміші парів:

$$M = 0,0708 \cdot 46,07 + 0,1506 \cdot 78,11 + 0,7786 \cdot 28,96 =$$

$$= 37,57 \text{ кг / кмоль}$$

(де: 28,96 – молекулярна маса повітря).

Відповідь. Молекулярна маса суміші парів становить $M = 37,57 \text{ кг / кмоль}$.

Задача 2.3. При заповненні збірника гасом марки КО-22 пароповітряна суміш надходить в приміщення. Визначити об'єм зони вибухонебезпечної концентрації поблизу дихального пристрою, якщо температура гасу становить 25 °С.

Розв'язок. Перевіряємо виконання необхідної ознаки утворення вибухонебезпечної умови зовні апарата (умова 1.15).

У табл.1 додатків знаходимо температуру спалаху гасу КО-22: $t_{сп} = 50^\circ\text{C}$.

Порівнюємо робочу температуру гасу в апараті з його температурою спалаху:

$$t_p = 25^\circ\text{C} < t_{cn} = 50^\circ\text{C} .$$

Відповідь. Умова утворення вибухонебезпечної концентрації в апараті (1.15) не виконується. Отже, пароповітряна суміш, яка виходить через дихальний пристрій апарата при заповненні збірника гасом марки КО-22 з температурою 25 °С не утворює вибухонебезпечної концентрації.

Задача 2.4. Визначити значення коефіцієнта дифузії пари ацетону в повітрі та його густину при 38 °С і атмосферному тиску.

Розв'язок. За табл. 1 додатків знаходимо значення коефіцієнта дифузії пари ацетону при 0°С, показник степеня і молекулярну масу:

$$D_o = 0,109 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \quad n=1,9; \quad M=58,08 \text{ кг/моль}.$$

Значення коефіцієнта дифузії при 38°С визначаємо за формулою (2.9):

$$D_{38} = D_o \left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273} \right)^n = 0,109 \cdot 10^{-4} \left(\frac{38 + 273}{0 + 273} \right)^{1,9} = 0,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с} .$$

Молекулярний об'єм пари при 38°С визначаємо за формулою (1.11):

$$V_{38} = 22,41 \cdot \frac{38 + 273}{273} = 25,53 \text{ м}^3 / \text{кмоль}.$$

Густину пари ацетону при 38°С визначаємо за формулою (2.10):

$$\rho_{38} = \frac{M}{V_t} = \frac{58,08}{25,53} = 2,27 \text{ кг / м}^3$$

Відповідь. Значення коефіцієнта дифузії пари ацетону в повітрі становить $D_{38} = 0,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$, а його густина – $\rho_{38} = 2,27 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Задача 2.5. В приміщенні, вільний об'єм якого становить 65 м^3 , пофарбували підлогу емаллю, яка містить 30% розчинника – циклогексану. Визначити загальнооб'ємну концентрацію парів циклогексану в приміщенні через 15 хв і 1 год після завершення фарбування підлоги (тривалістю фарбування знехтувати). Витрата емалі на фарбування підлоги площею 14 м^2 становила 3,2 кг. Вентиляція в приміщенні та теплообмінні пристрої відсутні. Температура повітря в приміщенні 22°C .

Розв'язок. Виходячи з умов задачі, приймаємо, що випаровування розчинника з фарби відбувається у нерухоме середовище при постійній температурі, а стіни приміщення перешкоджають розповсюдженню парів за межі поверхні випаровування. Для розрахунку маси розчинника, що випаровується з пофарбованої поверхні, використовуємо вираз (2.6). Визначаємо величини, які входять у вираз.

Тиск насиченої пари циклогексану при робочій температурі визначаємо за табл.2 додатків:

$$\text{при } T=279,8 \text{ К} \quad P_s=5332,88 \text{ Па,}$$

$$\text{при } T=298,6 \text{ К} \quad P_s=13332,2 \text{ Па.}$$

Отже, при $T=295 \text{ К} (22^\circ\text{C})$

$$P_s = 5332,88 + (295 - 279,8) \cdot \frac{13332,2 - 5332,88}{298,6 - 279,8} = 11800,42 \text{ Па}$$

Визначаємо концентрацію насиченої пари циклогексану за формулою (1.8):

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_{\text{заг}}} = \frac{11800,42}{1 \cdot 10^5} = 0,118 \text{ об.ч.}$$

Знаходимо молекулярну масу циклогексану за табл.1 додатків і визначаємо його молярний об'єм при 22°C за формулою (1.11):

$$M=84,16 \text{ кг/кмоль};$$

$$V_{22} = 22,41 \cdot \frac{22 + 273}{273} = 24,22 \text{ м}^3 / \text{кмоль}.$$

Визначаємо густину пари циклогексану при робочій температурі за формулою (2.10):

$$\rho_{22} = \frac{M}{V_t} = \frac{84,16}{24,22} = 3,47 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Площа випаровування відповідає площі підлоги приміщення: $F=14 \text{ м}^2$.

Знаходимо коефіцієнт дифузії пари циклогексану у повітрі за табл. 1 додатків:

$D_0 = 0,0646 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; $n=1,89$; $M=58,08 \text{ кг/моль}$.

Значення коефіцієнта дифузії при 22°C визначаємо за формулою (2.9):

$$D_{22} = D_0 \left(\frac{t_p + 273}{t_0 + 273} \right)^n = 0,0646 \cdot 10^{-4} \left(\frac{22 + 273}{0 + 273} \right)^{1,89} =$$
$$= 0,0748 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$$

Визначаємо масу розчинника, який випарується з пофарбованої підлоги за 900 с (15 хв) і 3600 с (1 год) за формулою (2.6):
при $\tau=900 \text{ с}$ (15 хв):

$$m_n = 1,155 \cdot \varphi_s \cdot \rho_t \cdot F_v \cdot \sqrt{\frac{D_t \cdot \tau}{1 - \varphi_s}} =$$
$$= 1,155 \cdot 0,118 \cdot 3,47 \cdot 14 \cdot \sqrt{\frac{0,0748 \cdot 10^{-4} \cdot 900}{1 - 0,118}} = 0,57 \text{ кг}$$

при $\tau=3600 \text{ с}$ (1 год):

$$m_n = 1,155 \cdot 0,118 \cdot 3,47 \cdot 14 \cdot \sqrt{\frac{0,0748 \cdot 10^{-4} \cdot 3600}{1 - 0,118}} = 1,158 \text{ кг}$$

Знаходимо загальну кількість розчинника, що міститься в емалі, яка витрачається на фарбування підлоги:

$$m = 3,2 \cdot 0,3 = 0,96 \text{ кг},$$

де: 3,2 кг – витрата емалі на фарбування підлоги; 0,3 мас.ч. – вміст циклогексану в емалі.

З порівняння величини $m_n = 1,158 \text{ кг}$ і величини $m = 0,96 \text{ кг}$ випливає, що за 1 год емаль повністю висохне і в парову фазу перейде весь розчинник, що містився в ній (кількістю 0,96 кг).

Визначаємо середньооб'ємну концентрацію парів циклогексану в повітрі приміщення через 900 с (15 хв) і 3600 с (1 год) після фарбування підлоги за формулою (2.13) (повітрообмін відсутній):

через $\tau=900 \text{ с}$ (15 хв):

$$\varphi_0 = \frac{m}{V_B} = \frac{0,579}{65} = 0,0089 \text{ кг} / \text{м}^3$$

через $\tau=3600 \text{ с}$ (1 год):

$$\varphi_0 = \frac{0,96}{65} = 0,0148 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Відповідь. Загальнооб'ємна концентрація парів циклогексану в приміщенні через 15 хв становить $\varphi_0 = 0,0089 \text{ кг/м}^3$ і через 1 год після завершення фарбування підлоги $\varphi_0 = 0,0148 \text{ кг/м}^3$.

Задача 2.6. Визначити масу метилового спирту, яка випаровується через дихальний пристрій резервуара протягом доби завдяки великим диханням. Об'єм резервуара 2000 м^3 , ступінь заповнення $0,8$, кількість дихань 3 , робочий тиск $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$, температура рідини та газового простору 20°C .

Розв'язок. Тиск насиченої пари при робочій температурі рідини визначаємо за рівнянням Антуана (1.9):

$$P_s = 133,322 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A}\right)} = 133,322 \cdot 10^{\left(7,352 - \frac{1660,45}{20 + 245,8}\right)} = 1697,83 \text{ Па},$$

де: A, B, C_A – константи, які залежать від властивостей горючої рідини.

Визначаємо концентрацію насичених парів метилового спирту над поверхнею рідини за формулою (1.8):

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_{заг}} = \frac{1697,83}{1 \cdot 10^5} = 0,0169 \text{ об.ч.},$$

де: P_s – тиск насиченої пари при заданій температурі, [Па]; $P_{заг}$ – загальний тиск системи (робочий тиск у герметичному апараті або барометричний тиск в апараті, який з'єднується з атмосферою), [Па].

Кількість горючої пари метилового спирту, яка виходить з резервуара при великому диханні, визначається за формулою:

$$G_g = \Delta V_p \cdot \frac{P_p}{t_p + 273} \cdot \varphi_s \cdot \frac{M}{8314,31} =$$

$$= 1600 \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{20 + 273} \cdot 0,0169 \cdot \frac{32,04}{8314,31} = 35,56 \text{ кг/цикл},$$

де: ΔV_p – об'єм рідини, яка надходить в апарат, [м^3]; величину ΔV_p визначають за формулою: $\Delta V_p = \varepsilon \cdot V_{геом} = 0,8 \cdot 2000 = 1600 \text{ м}^3$, ε – ступінь заповнення апарата; $V_{геом}$ – геометричний об'єм апарата, [м^3]; P_p – робочий тиск в апараті, [Па]; φ_s – концентрація насичених парів, [об. частки]; t_p – робоча температура, [$^\circ\text{C}$]; M – молекулярна маса рідини, [кг/кмоль]; $8314,31 \text{ Дж / (кмоль} \cdot \text{К)}$ – універсальна газова стала.

Масу парів, які випаруються з резервуара протягом доби, визначаємо за формулою:

$$m_n = \frac{G_e \cdot N \cdot \tau}{3600} = \frac{35,26 \cdot 0,125 \cdot 86400}{3600} = 109,68 \text{ кг},$$

де: G_e – кількість парів, які надходять за 1 цикл великого дихання, [кг/цикл];
 N – кількість циклів протягом години, ($N=3/24=0,125$) [год⁻¹]; τ – тривалість (період) роботи апарата, [с]; $\tau = 1$ доба = 86400 с.

Відповідь. Протягом доби завдяки великим диханням через дихальний пристрій резервуара випаровується 109,68 кг метилового спирту.

Задача 2.7. Визначити, яка кількість парів метилового спирту вийде з резервуара при плавній зміні температури навколишнього середовища від 12 до 25 °С (мале дихання). Об'єм резервуара 100 м³, ступінь заповнення 0,7, робочий тиск $1 \cdot 10^5$ Па.

Розв'язок. Тиск насиченої пари при температурах 12 °С та 20 °С рідини визначаємо за рівнянням Антуана (1.9):

при температурі $t=12^\circ\text{C}$

$$P_{s1} = 133,322 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A}\right)} = 133,322 \cdot 10^{\left(7,352 - \frac{1660,45}{12 + 245,8}\right)} = 1086,17 \text{ Па},$$

при температурі $t=20^\circ\text{C}$

$$P_{s2} = 133,322 \cdot 10^{\left(7,352 - \frac{1660,45}{20 + 245,8}\right)} = 1697,83 \text{ Па}$$

де: A, B, C_A – константи, які залежать від властивостей горючої рідини.

Визначаємо концентрацію насичених парів метилового спирту над поверхнею рідини за формулою (1.8) при заданих температурах:

$$\varphi_{s1} = \frac{P_{s1}}{P_{заг}} = \frac{1086,17}{1 \cdot 10^5} = 0,0109 \text{ об.ч.}$$

$$\varphi_{s2} = \frac{1697,83}{1 \cdot 10^5} = 0,0169 \text{ об.ч.},$$

де: P_{s1}, P_{s2} – тиск насиченої пари при заданих температурах, [Па]; $P_{заг}$ – загальний тиск системи (барометричний тиск в резервуарі, який з'єднується з атмосферою), [Па].

Середню концентрацію насичених парів метилового спирту визначаємо за формулою:

$$\varphi_{сер} = \frac{\varphi_{s1} + \varphi_{s2}}{2} = \frac{0,0109 + 0,0169}{2} = 0,0139 \text{ об.ч.}$$

Кількість горючої пари метилового спирту, яка виходить з резервуара при малому диханні, визначаємо за формулою (2.4):

$$G_m = V_v \cdot P_p \cdot \left(\frac{1 - \varphi_{s1}}{t_1 + 273} - \frac{1 - \varphi_{s2}}{t_2 + 273} \right) \cdot \frac{\varphi_{сep}}{1 - \varphi_{сep}} \cdot \frac{M}{8314,31} =$$

$$= 30 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{1 - 0,0109}{12 + 273} - \frac{1 - 0,0169}{20 + 273} \right) \cdot \frac{0,0139}{1 - 0,0139} \cdot \frac{32,04}{8314,31} = 0,019 \text{ кг}$$

де: φ_{s1} – концентрація насичених парів рідини при температурі t_1 , [об. частки]; φ_{s2} – концентрація насичених парів рідини при температурі t_2 , [об. частки]; t_1, t_2 – початкова та кінцева температури, [°C]; $\varphi_{сep}$ – середня концентрація насичених парів в апараті, [об. частки]; V_v – вільний об'єм в апараті, [м³]; P_p – робочий тиск, [Па]; M – молекулярна маса рідини, [кг/кмоль]; 8314,31 Дж / (кмоль · К) – універсальна газова стала.

Відповідь. При зміні температури навколишнього середовища від 12 до 20°C через дихальну арматуру резервуара вийде 0,019 кг парів метилового спирту.

Задача 2.8. У виробничому приміщенні, згідно з технологічним процесом, зразки виробів занурюють у ванну з бензином. Площа поверхні ванни 0,9 м². Температура повітря в приміщенні та бензину 20 С⁰. Визначити кількість бензину, який випаровується з відкритої поверхні ванни за одну годину (випаровування в нерухоме середовище).

Розв'язок. Тиск насиченої пари при температурі 20 °С рідини визначається за рівнянням Антуана (1.9):

$$P_s = 133,322 \cdot 10^{\left(\frac{A - B}{t_p + C_A} \right)} = 133,322 \cdot 10^{\left(8,41944 - \frac{2629,65}{20 + 382,195} \right)} =$$

$$= 10141,49 \text{ Па}$$

де: A, B, C_A – константи, які залежать від властивостей горючої рідини.

Визначаємо концентрацію насичених парів метилового спирту, над поверхнею рідини за формулою (1.8) при заданих температурах:

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_{заг}} = \frac{10141,49}{1 \cdot 10^5} = 0,101 \text{ об.ч.}$$

де: P_s – тиск насиченої пари при заданих температурах, [Па]; $P_{заг}$ – загальний тиск системи (барометричний тиск в резервуарі, який з'єднується з атмосферою), [Па].

Визначаємо молярний об'єм пари бензину у заданих умовах за формулою (1.11):

$$V_t = V_o \cdot \frac{t_p + 273}{273} \cdot \frac{P_o}{P_{\text{заг}}} = 22,4 \cdot \frac{20 + 273}{273} \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 24,05 \text{ м}^3 / \text{кмоль},$$

де: $V_o = 22,4125$ [м³/кмоль] – молярний об'єм пари рідини чи газу у нормальних умовах; t_p – робоча температура рідини, [°С]; $P_o = 1,01325 \cdot 10^5$ Па ($\approx 1 \cdot 10^5$ Па) – тиск за нормальних фізичних умов.

Визначаємо густину парів бензину при робочій температурі:

$$\rho_t = \frac{M}{V_t} = \frac{102,2}{24,05} = 4,25 \text{ кг/м}^3$$

де: M – молярна маса бензину (кг/моль) (табл. 1 додатків).

Значення коефіцієнта дифузії при 20°С визначаємо за формулою (2.9):

$$D_{20} = D_o \left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273} \right)^n = 0,057 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{20 + 273}{0 + 273} \right)^2 = 6,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Масу парів бензину, яка випаровується з відкритої поверхні ванни в нерухоме середовище, визначаємо формулою (2.6):

$$m_n = 1,155 \cdot \varphi_s \cdot \rho_t \cdot F_s \cdot \sqrt{\frac{D_t \cdot \tau}{1 - \varphi_s}} =$$

$$= 1,155 \cdot 0,101 \cdot 4,25 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{6,6 \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{1 - 0,101}} = 0,073 \text{ кг}$$

де: ρ_t – густина пари рідини при робочій температурі, [кг/м³]; F_s – поверхня випаровування, [м²]; D_t – коефіцієнт дифузії пари при робочій температурі, [м²/с]; τ – тривалість випаровування, [с].

Відповідь. В нерухоме середовище випарується 0,073 кг бензину.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

2.1. Визначити середню концентрацію парів (або газів) у виробничому приміщенні, яке обладнане припливно-витяжною вентиляцією. У виробничому процесі використовується нове герметичне обладнання, яке працює під підвищеним тиском. Вид горючої речовини, робочий тиск P_p , температуру t_p , об'єм обладнання V_b , заповненого парами (газами), а також кратність повітрообміну A і розміри приміщення $L \times V \times H$ взяти з табл.2.1.

Таблиця 2.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча речовина	метан	метанол	етан	етанол	пропан	н-пропанол	бутан	н-бутанол	аміак	оксид вуглецю
P_p , МПа	2,0	4,5	8,0	0,6	10,0	1,5	4,0	2,5	6,0	32,0
t_p , °С	350	150	300	180	250	200	325	225	450	380
V_B , м ³	2,5	6,5	2,0	8,5	15,0	10,0	13,0	7,5	40,0	6,0
A , год ⁻¹	2	6	4	8	7	5	3	7	9	10
$L \times V \times H$, м	20x10x4		18x12x5		16x16x4		12x12x6		25x20x7	

2.2. Визначити, яка кількість пари легкозаймистої рідини вийде з резервуара при плавній зміні температури навколишнього середовища від 15 до 27°С. Робочий тиск в резервуарі – атмосферний ($1 \cdot 10^5$ Па). Вид рідини, об'єм резервуара V , ступінь заповнення резервуара ε , визначаються за таблицею 2.2.

Таблиця 2.2

Вид рідини	ацетон	бензол	н-гексан	бензин	н-ксілол	н-пентан	толуол	бензин	н-гептан	етилацетат
Об'єм резервуара V , м ³	200	200	500	500	100	100	1000	2000	500	200
Ступінь заповнення резервуара ε	0,7	0,75	0,8	0,85	0,6	0,7	0,8	0,7	0,75	0,6

2.3. Визначити об'єм місцевих зон вибухонебезпечних концентрацій, які утворюються поблизу дихального пристрою апарата, який розташований в цеху, протягом доби завдяки великим і малим «диханням». Вид продукту, геометричний об'єм апарата V_{ap} , ступінь його заповнення ε та робочі температури продукту і повітря вдень t_d та вночі t_n взяти з табл. 2.3. Робочий тиск в апараті – атмосферний. Апарат заповнюється щоразу в кінці денної зміни.

Таблиця 2.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	толуол	циклогексан	ізооктан	метанол	метил-кетон	н-октан	ацетон	бензол	н-гексан	н-гептан
$V_{ап}, M^3$	50	100	75	200	50	20	40	60	80	150
ϵ	0,5	0,6	0,7	0,2	0,4	0,8	0,6	0,5	0,9	0,4
$t_{д}, ^\circ C$	22	24	20	23	21	22	20	24	18	20
$t_{н}, ^\circ C$	15	16	14	15	12	10	13	12	11	14

2.4. В приміщенні цеху розміром $L \times V \times H$ встановлені три однакові змішувачі з дихальними пристроями, які заповнюються водним розчином горючої рідини. Апарати працюють періодично з тривалістю циклу 1 год і часом заповнення 20 хв. Визначити об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій поблизу дихального пристрою кожного змішувача, а також середньооб'ємну концентрацію горючих парів в цеху, який не обладнаний вентиляцією. Вид горючої речовини, її концентрацію та інші параметри взяти з табл. 2.4. Тиск у змішувачі – атмосферний.

Таблиця 2.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча рідина	етанол	ізопропіловий спирт	ацетон	метанол	оцтова кислота	ізопропіловий спирт	етанол	ацетон	оцтова кислота	метанол
Концентрація водного розчину, % мас.	40	40	55	55	70	70	25	25	90	90
Місткість змішувача, M^3	1,5	2,0	3,0	1,8	2,5	2,4	1,9	2,7	1,6	2,6
Ступінь заповнення	0,9	0,7	0,4	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,9	0,5
Температура середовища, $^\circ C$	35	40	15	30	70	35	45	20	60	25
Розміри цеху $L \times V \times H$, м	9x6x4		12x8x4		10x5x4		12x6x6		12x8x5	

Примітка. Для оцінки можливості утворення вибухонебезпечної концентрації у змішувачі доцільно використати табл.8 додатків.

2.5. Оцінити можливість утворення вибухонебезпечної концентрації в об'ємі приміщення складу, яке не обладнане припливно-витяжною вентиляцією. У приміщення внесли баки з легкозаймистою рідиною. Баки обладнані дихальними пристроями. Вид легкозаймистої рідини взяти з табл. 2.3, тиск в баках – атмосферний. Геометричний об'єм баків V , їх кількість N та ступінь заповнення рідиною ε , а також температуру повітря зовні приміщення t_3 і в приміщенні $t_{п}$ взяти з табл. 2.5.

Таблиця 2.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V, \text{ м}^3$	25	30	40	50	45	35	20	80	90	75
N	20	25	20	15	15	30	30	15	10	15
ε	0,6	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,4	0,5	0,5
$t_3, ^\circ\text{C}$	-20	-15	-10	0	10	-5	-5	-10	-20	-15
$t_{п}, ^\circ\text{C}$	5	15	15	25	20	20	25	20	10	20

2.6. В процесі приготування продукту (розчинника) використовується 6 періодично діючих апаратів, які працюють попарно в єдиному циклі: заповнення – 10 хв, нагрівання – 15 хв, перемішування – 15 хв, розвантаження – 20 хв. Прийняти, що робоча температура продукту в апараті під час перемішування дорівнює $0,5 t_{\text{кип}}$ ($t_{\text{кип}}$ – температура кипіння). Перемішування здійснюється під тиском 0,15 МПа, решта стадій – при атмосферному тиску. Визначити концентрацію парів у виробничому приміщенні, яке має вільний об'єм 400 м^3 і повітрообмін кратністю 4 год^{-1} . Вид розчинника та інші параметри взяти з табл. 2.6.

Таблиця 2.6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча рідина	бензол	н-гетан	ізопропіловий спирт	н-ксілол	н-октан	бутиловий пирт	толуол	хлорбензол	етилацетат	етанол
Геометричний об'єм апарата, м^3	0,4	1,2	1,4	1,2	0,8	0,9	1,1	0,7	0,5	0,6
Ступінь заповнення	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,6	0,7	0,4
Початкова температура продукту, $^\circ\text{C}$	15	20	18	22	16	21	24	17	23	19

Примітка. Сумарна маса парів розчинника, які надходять в приміщення, утворюється завдяки великому «диханню» при заповненні апарата, малому «диханню» при нагріванні, а також викиду пароповітряної суміші при розгерметизації апарата для розвантаження продукту.

2.7. В виробничій лабораторії зразки виробів для проведення випробувань на хімічну стійкість занурюють у ванну з розчинником (вид розчинника беремо з табл. 2.3). Ванна обладнана місцевою витяжкою. Габарити ванни 1,5x0,8 м. Температуру повітря в приміщенні і розчинника взяти з табл. 2.7. Визначити час, протягом якого концентрація парів в приміщенні з вільним об'ємом 180 м³ досягне гранично допустимого значення за умовами вибухобезпеки при зупинці місцевої вентиляції. Загальнообмінна вентиляція в приміщенні відсутня, а швидкість повітря вздовж поверхні випаровування не перевищує 0,1 м/с.

Таблиця 2.7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура повітря і розчинника, °С	22	15	24	25	18	25	16	17	15	19

2.8. При фасуванні готової продукції надлишок пожежонебезпечної рідини нагромаджується в піддоні розміром 2,5x0,5 м. Визначити об'єм місцевої зони вибухонебезпечних концентрацій, яка утворюється при випаровуванні рідини з піддона під час годинної перерви, коли загальнообмінна вентиляція в цеху була від'єднана. Вид продукту та інші дані для розрахунку взяти з табл. 2.8.

Таблиця 2.8

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	бензол		ацетон		толуол		метанол		етанол	
Температура повітря і продукту, °С	15	20	18	22	16	21	24	17	23	19
Об'єм продукту у ванні, л	10	12	5	20	18	50	30	15	60	35

Примітка. При визначенні маси рідини, яка випарувалась, необхідно врахувати її фактичну кількість у ванні.

1.3. ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ВИХОДУ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН З ПОШКОДЖЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

При аваріях і пошкодженнях апаратів та трубопроводів з них виходять горючі гази, пара та рідини, що може призвести до утворення вибухопожежонебезпечних сумішей як у виробничих приміщеннях, так і на відкритих майданчиках.

1. Масу речовин, які виходять назовні при локальних пошкодженнях апаратів, визначають за формулою:

$$m_n = \alpha \cdot \rho_l \cdot \omega \cdot f \cdot \tau, \quad (3.1)$$

де: α – коефіцієнт витрат, який змінюється в межах 0,45–0,85; при витіканні через отвір круглої форми в тонких стінках рідин, в'язкість яких становить (0,5–1,5) МПа·с, можна вважати $\alpha = 0,64$; f – переріз отвору, через який рідина виходить назовні, [м²]; ω – швидкість витікання рідини з отвору, [м/с]; ρ_l – густина рідини, [кг/м³]; τ – тривалість витікання, [с].

2. Швидкість витікання рідини через отвір у трубопроводі або корпусі апарата при постійному тиску обчислюють за формулою:

$$\omega = \sqrt{2g \cdot H_{\text{ПР}}}, \quad (3.2)$$

де: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення сили тяжіння; $H_{\text{ПР}}$ – приведений напір, під дією якого проходить стікання рідини через отвір, [м].

При витіканні самопливом $H_{\text{ПР}} = H$ (H – висота стовпа рідини, [м]); при роботі апарата під тиском:

$$H_{\text{ПР}} = \frac{P_n}{\rho_p \cdot g} + H, \quad (3.3)$$

де: P_n – надлишковий тиск середовища в апараті над поверхнею рідини, [Па], який визначається за формулою: $P_n = P_p - 1 \cdot 10^5$; P_p – абсолютний робочий тиск середовища в апараті, [Па]; ρ_p – густина рідини при робочій температурі, [кг/м³].

3. Швидкість витікання перегрітих парів і газів через отвір залежить від режиму витікання і визначається за такими формулами:

для докритичного режиму витікання, коли $P_C > P_{\text{КР}}$:

$$\omega_{\text{докр}} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot R \cdot (t_p + 273) \cdot \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}; \quad (3.4)$$

для критичного режиму витікання, коли $P_C \leq P_{\text{КР}}$:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot R \cdot (t_p + 273)}, \quad (3.5)$$

де: P_C – тиск навколишнього середовища, в яке витікає газ, [Па] (як правило $P_C = P_{БАР}$); $P_{кр}$ – критичний тиск, який визначається з виразу:

$$P_{кр} = P_p \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3.6)$$

де: k – показник адіабати; значення k для різних парів і газів наведені в табл. 5 додатків; R – універсальна газова стала, $R = 8314,31$ МДж/кг·К.

4. Кількість повітря Q_n , яке проникає через нещільності і пошкодження в апарати, які працюють під розрідженням, визначаємо за формулою:

$$Q_n = f \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_B}{\rho_n} \cdot \frac{(t_p + 273) \cdot \tau}{t_n + 273}}, \quad (3.7)$$

де: α – коефіцієнт витрати повітря, рівний 0,7; P_B – величина розрідження (вакууму), [Па]; чисельні значення величин розрідження P_B і надлишкового тиску P_C середовища в апараті пов'язані співвідношенням: $P_B + P_C = 1 \cdot 10^5$ Па; t_p – температура середовища в апараті, [°C]; τ – тривалість аварійного режиму, [с]; ρ_n – густина повітря, яке проникає в апарат при температурі t_n , [кг/м³]; t_n – температура повітря, яке проникає в апарат, [°C].

5. Масу горючих речовин m_p , яка виходить назовні при повному руйнуванні апарата, визначають за формулою:

$$m_p = m_{an} + m_{mp1} + m_{mp2}, \quad (3.8)$$

де: m_{an} – маса речовин, які виходять із зруйнованого апарата, [кг]; m_{mp1} , m_{mp2} – маса речовин, які виходять із трубопроводів відповідно до моменту від'єднання засувок або інших запірних пристроїв і після їх закриття, [кг].

Для апаратів з рідинами або скрапленими газами масу горючих речовин m_p визначають за формулою:

$$m_p = \left(V_{an} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{iH} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jTP} \cdot f_{jTP} \right) \cdot \rho_P, \quad (3.9)$$

Для апаратів із стиснутими газами масу горючих речовин m_r визначають за формулою:

$$m_z = \left(V_{an} \cdot \frac{m_m}{1 \cdot 10^5} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{iR} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jTP} \cdot f_{jTP} \cdot \frac{P_P}{1 \cdot 10^5} \right) \cdot \rho_z, \quad (3.10)$$

де: V_{an} – геометричний внутрішній об’єм апарата, [м³]; ε – ступінь (коефіцієнт) заповнення апарата; P_P – робочий тиск середовища в апараті, [Па]; q_{iR} і q_{iK} – продуктивність відповідно i -го насоса або компресора (або пропускна здатність i -го трубопроводу), який живить апарат, [м³/с]; τ_i – тривалість відключення i -го збудника витрат, [с]; n_i – кількість збудника витрат, які живлять апарат; l_{jmp} і f_{jmp} – відповідно довжина [м] і переріз [м²] j -ої ділянки трубопроводу (від аварійного апарата до запірного пристрою), з якого витікає рідина або газ; ρ_p та ρ_z – відповідно густина рідини та газу при робочій температурі середовища в апараті, [кг/м³]; k – число ділянок трубопроводів, які ведуть до аварійного апарата.

Тривалість від’єднання насоса або компресора приймається за 120 с (при автоматичному від’єднанні збудника витрат або запірного пристрою на трубопроводі) або за 300 с (при ручному від’єднанні).

б. Час повного випаровування рідини τ_n , яка розлилась на підлозі виробничого приміщення при аварії технологічного обладнання, визначають за формулою:

$$\tau_n = \frac{m_p}{W_B \cdot F_B}, \quad (3.11)$$

де: W_B – інтенсивність випаровування рідини, [кг/м² · с], яка визначається за формулою:

$$W_B = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s, \quad (3.12)$$

F_B – площа випаровування, [м²] – приймається з такого виразу:

$$F_B = \min \left[\begin{array}{l} F_p = f_p \cdot V_p \\ F_n = a \cdot b \end{array} \right], \quad (3.13)$$

де: F_p – площа рідини, яка розлилася, [м²]; f_p – питома площа розливої рідини, [м⁻¹]; $V_p = m_p/\rho_p$ (ρ_p – густина рідини, яка розлилась, [кг/м³]); F_n – площа підлоги приміщення, [м²]; a і b – довжина і ширина приміщення, [м].

Величину F_p приймають, виходячи з умови, що 1 л сумішей і розчинів, які містять 70% і менше за масою розчинників, розливається на площі 0,5 м², а інших рідин – на площі 1 м² (тобто в першому випадку $f_p = 500$ м⁻¹, а в другому $f_p = 1000$ м⁻¹).

7. Об'єм зони $[m^3]$, в якій може утворюватися вибухонебезпечна концентрація парів, які випарувались з розлитої рідини, визначають за формулою:

$$V_3 = \frac{m_n}{0,5 \cdot \varphi_n^*},$$

де: m_n – маса пари, яка випарувалась з розлитої рідини, [кг]; φ_n^* – нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я, $[кг/м^3]$.

8. Тривалість утворення вибухонебезпечних концентрацій у виробничому приміщенні (при пошкодженні апаратів з газами або парою) визначають за формулами:

за відсутності обміну повітря в приміщенні:

$$\tau_r = \frac{V_e}{q} \cdot \ln \frac{1}{1 - \varphi_n}, \quad (3.14)$$

за наявності обміну повітря в приміщенні:

$$\tau_2 = \frac{V_e}{a + q} \cdot \ln \frac{q}{1 - (a + q) \cdot \varphi_n}, \quad (3.15)$$

де: τ_r – тривалість нарощування вибухонебезпечних концентрацій у приміщенні, [с]; V_B – вільний об'єм приміщення, $[м^3]$; φ_n – нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я горючої речовини, [об.частки]; q – інтенсивність надходження пари або газів у приміщення, де знаходиться апарат, $[м^3/с]$:

$$q = \alpha \cdot f \cdot \omega, \quad (3.16)$$

$$\text{або } q = \frac{m_r}{(\rho_r \cdot \tau)} \quad (3.17)$$

де: a – продуктивність вентиляційної системи, $[м^3/с]$.

9. Розрахункова маса завислого пилу m [кг], що утворився в результаті аварійної ситуації, визначається за формулою:

$$m = m_{3e} + m_{ae}, \quad (3.18)$$

де: m_{3e} – розрахункова маса звихреного пилу, [кг]; m_{ae} – розрахункова маса пилу, який надійшов в приміщення в результаті аварійної ситуації, [кг];

Розрахункова маса m_{3e} [кг] звихреного пилу визначається за формулою:

$$m_{3e} = K_{3e} \cdot m_n, \quad (3.19)$$

де: K_{3e} – частка відкладеного в приміщенні пилу, який здатний перейти в завислий стан в результаті аварійної ситуації; за відсутності експериментальних даних допускається приймати $K_{3e}=0,9$; m_n – маса пилу, який знаходився в приміщенні до аварії, [кг].

Розрахункова маса пилу m_{ae} [кг], який надійшов в приміщення в результаті аварійної ситуації, визначається за формулою:

$$m_{ae} = (m_{an} + q \cdot T) \cdot K_n, \quad (3.20)$$

де: m_{an} – маса горючого пилу, який надійшов в приміщення з апарата, [кг]; q – продуктивність, з якою надходить пил в аварійний апарат трубопроводами до моменту його відключення, [кг·с⁻¹]; T – час відключення, [с]; K_n – коефіцієнт пиління, що є відношенням маси завислого у повітрі пилу, до маси всього пилу, що надійшов з апарата в приміщення. За відсутності експериментальних даних про величину K_n , приймають для пилу з дисперсністю не менше 350 мкм – $K_n = 0,5$; для пилу з дисперсністю менше 350 мкм – $K_n = 1,0$.

Маса пилу m_{II} [кг], який відклався до моменту аварії, визначається за формулою:

$$m_{II} = K_r \cdot (1 - K_{II}) \cdot (m_1 + m_2), \quad (3.21)$$

де: K_r – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу, [кг]; K_{II} – коефіцієнт ефективності пилоприбирання. Для ручного сухого прибирання – 0,6; для вологого – 0,7; для механізованого вакуумного: підлога рівна – 0,9; підлога з вибоїнами (до 5 % площі) – 0,7; m_1 – маса пилу, який осідає на важкодоступні для прибирання поверхні в приміщеннях за період часу між генеральними прибираннями, [кг]; m_2 – маса пилу, який осідає на доступних для прибирання поверхнях в приміщеннях за період часу між поточними прибираннями, [кг].

Важкодоступними для прибирання вважають такі поверхні у виробничих приміщеннях, очищення яких здійснюється тільки під час генеральних пилоприбирань. Доступними для прибирання місцями вважають поверхні, пил з яких вилучають в процесі поточних пилоприбирань (щозмінно, щодобово тощо).

Маса пилу m_i ($i=1,2$) [кг], яка осідає на різних поверхнях в приміщенні за міжприбиральний період, визначається за формулою:

$$m_i = M_i \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_i, \quad (i=1,2), \quad (3.22)$$

де: $M_1 = \sum_j M_{1j}$ – маса пилу, який надходить в приміщення за період часу між генеральними пилоприбираннями, [кг]; M_{1j} – маса пилу, що виходить з одиниці обладнання за вказаний період, [кг]; $M_2 = \sum_j M_{2j}$ – маса пилу, який надходить в приміщення за період часу між поточними пилоприбираннями, [кг]; M_{2j} – маса пилу, що виділяється одиницею обладнання за вказаний період, [кг]; α – частка пилу, який вилучається витяжними вентиляційними системами; при відсутності експериментальних даних про величину α приймають $\alpha=0$; β_i – частка пилу, який виділяється в об'єм приміщення та осідає на доступних та важкодоступних місцях ($\beta_1 = 1, \beta_2 = 0, \beta_1 + \beta_2 = 1$).

Маса пилу M_{1j} [кг], що виходить з одиниці обладнання за вказаний період, обчислюється за формулою:

$$M_{1j} = V_{op} \cdot \rho_{op}, \quad (3.23)$$

де: V_{op} – об'єм деревини, яка переходить у пил, [м³]; ρ_{op} – густина деревини, [кг/м³].

$$m_2 = M_2(1 - \alpha) \cdot \beta_2, \quad (3.24)$$

де: $M_2 = \sum M_{2i}$ – маса пилу, яка утворюється в приміщенні за місяць роботи.

10. Максимальну безпечну для людей (гранично допустиму) масу $m_{без}$ горючих газів, пари легкозаймистих і горючих рідин та пилу при вибуху в приміщенні вибухонебезпечної суміші визначають за формулою:

$$m_{без} = \frac{150 \cdot V_v \cdot \rho_n \cdot (t_n + 273)}{Q_H^P \cdot z}, \quad (3.25)$$

де: V_v – вільний об'єм приміщення, [м³]; ρ_n – густина повітря в приміщенні до вибуху при температурі t_n , [кг/м³]; Q_H^P – найнижча температура згорання речовини, [Дж/кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху, приймається за довідковими даними (див. табл. 13 додатків).

11. При обертанні в технологічному процесі індивідуальних горючих газів і пари ЛЗР та ГР, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, максимально безпечну для людей масу $m_{без}$ таких речовин визначають за формулою:

$$m_{без} = \frac{150 \cdot V_v \cdot \rho_{z,n} \cdot \varphi_{cm}}{(\mu - 1) \cdot z}, \quad (3.26)$$

де: $\rho_{z,n}$ – густина пари або газу при температурі повітря в приміщенні t_v , [кг/м³]; φ_{cm} – стехіометрична концентрація горючої речовини в повітрі, яка обчислюється за формулою:

$$\varphi_{cm} = \frac{1}{1 + 4,81 \cdot \beta}, \quad (3.27)$$

де: $\beta = n_C + \frac{n_H - n_G}{4} - \frac{n_O}{2}$ – стехіометричний коефіцієнт при кисні в реакції згорання; n_C , n_H , n_O і n_G – відповідно число атомів С, Н, О, галогенів (Cl, Br, I, F) і N в молекулі горючого; μ – ступінь підвищення тиску при вибуху в замкнутому об'ємі, визначається з виразу:

$$\mu = \frac{P_{max}}{P_{бар}}, \quad (3.28)$$

де: P_{max} – максимальний тиск вибуху горючої суміші, [Па] (див. табл. 21 додатків); $P_{бар}$ – барометричний (атмосферний) тиск, [Па].

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 3.1. Визначити, яка кількість метилового спирту надійде у виробниче приміщення при локальному пошкодженні технологічного апарата, якщо аварія була ліквідована за 900 с. Температура рідини $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, коефіцієнт витрат $\alpha=0,7$, діаметр отвору в стінці апарата $d_{от}=5\text{ мм}$, висота стовпа рідини $H=4\text{ м}$, робочий тиск в апараті $P_p=0,2\text{ МПа}$.

Розв'язок. Визначаємо площу отвору, через який рідина виходить з технологічного апарата назовні:

$$f_{от} = \frac{\pi \cdot d_{от}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,005^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

де: $d_{от}=0,005\text{ м}$ – діаметр отвору в пошкодженому обладнанні, $[\text{м}^2]$.

З табл.4 додатків знаходимо густину ацетону при робочій температурі $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\rho=790,5\text{ кг/м}^3$$

Знаходимо робочий надлишковий тиск в апараті:

$$P_n = P_p - 1 \cdot 10^5 = 2 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

де: $P_p=0,2\text{ МПа}$ – абсолютний робочий тиск в апараті (за умовою задачі).

За формулою (3.3) визначаємо приведенний напір:

$$H_{пр} = \frac{P_n}{\rho_p \cdot g} + H = \frac{1 \cdot 10^5}{790,5 \cdot 9,81} + 4 = 16,9 \text{ м},$$

де: $H=4\text{ м}$ – висота стовпа рідини.

Швидкість витікання ацетону через отвір розраховуємо за формулою (3.2):

$$\omega = \sqrt{2g \cdot H_{пр}} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 16,9} = 18,21 \text{ м/с}.$$

Кількість ацетону, який витікає через отвір у днищі апарата за 900 с, визначаємо за формулою (3.1):

$$m_d = \alpha \cdot \rho_t \cdot \omega \cdot f \cdot \tau = 0,7 \cdot 1,96 \cdot 10^{-5} \cdot 18,21 \cdot 790,5 \cdot 900 = 177,8 \text{ кг}$$

де: $\alpha=0,7$ – коефіцієнт витрат (за умовою задачі).

Відповідь. Маса ацетону, який витікає через отвір у днищі апарата за 900 с становить $m_d = 177,8 \text{ кг}$.

Задача 3.2. Оцінити площу розливу горючої рідини на підлозі виробничого приміщення при повному руйнуванні апарата з ацетоном. В момент аварії здійснювалося наповнення ацетону в апарат відцентровим насосом трубопроводом діаметром $d_{вн.}=0,05\text{ м}$. Від'єднання насоса і засувки на трубопроводі – ручне. Об'єм апарата $V_{ап}=0,5\text{ м}^3$, ступінь його заповнення продуктом $\varepsilon=0,7$, продуктивність насоса $q_n=0,3\text{ л/с}$, довжина трубопроводу, який живить апарат, $l_{тр}=10\text{ м}$, температура продукту $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розв'язок. Приймаємо при ручному від'єднанні насоса і засувки $\tau=300$ с. Визначаємо площу перерізу нагнітального трубопроводу:

$$f_{mp} = \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

де: $d_{вн}=0,05$ м – діаметр трубопроводу.

З табл.4 додатків знаходимо густину ацетону при робочій температурі $t=20$ °С :

$$\rho=790,5 \text{ кг/м}^3$$

Об'єм ацетону, який розіллється при повному руйнуванні апарата, визначаємо з формули:

$$V_p = V_{ан} \cdot \varepsilon + q_{iн} \cdot \tau_i + l_{jтp} \cdot f_{jтp}$$

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$V_p = 70,5 \cdot 0,7 + 0,0003 \cdot 300 + 10 \cdot 0,00196 = 0,4596 \text{ м}^3,$$

де: $V_{ан}=0,5$ м³, $\varepsilon=0,7$, $q_{iн}=0,3$ л/с, $l_{jтp}=10$ м, $\tau=300$ с – за умовою задачі.

Виходячи з того, що 1 л ацетону може розлитися на площі 1 м² підлоги приміщення ($f_p=1000$ м⁻¹), отримаємо:

$$F_p = f_p \cdot V_p = 1000 \cdot 0,4596 = 459,6 \text{ м}^2$$

Відповідь. Площа розливу горючої рідини на підлозі виробничого приміщення при повному руйнуванні апарата з ацетоном становить $F_p = 459,6 \text{ м}^2$.

Задача 3.3. Визначити тривалість утворення вибухонебезпечної концентрації в приміщенні, якщо сталася аварія нагнітального трубопроводу з етиленом. В період аварії вентиляція не працювала. Температура етилену в трубопроводі $t=15$ °С, тиск $P_p=12$ МПа, діаметр трубопроводу $d_{тр}=100$ мм, вільний об'єм приміщення $V_v=7000$ м³, коефіцієнт витрати 0,65.

Розв'язок. За табл. 5 додатків знаходимо показник адіабати етилену при 15 °С: $K=1,255$.

Визначаємо критичний тиск за формулою (3.6):

$$P_{кр} = P_p \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 12 \left(\frac{2}{1,255+1} \right)^{\frac{1,255}{1,255-1}} = 6,65 \text{ МПа},$$

де: $P_p=12$ МПа – за умовою задачі.

Знаходимо молекулярну масу етилену за табл. 1 додатків: $M=28,05$ кг/кмоль.

Визначаємо газову постійну етилену:

$$R = \frac{8314,31}{M} = \frac{8314,31}{28,05} = 296,41 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К}.$$

Визначаємо режим витікання етилену з трубопроводу: при ($P_c=0,1$ МПа) < ($P_{кр}=6,65$ МПа) витікання газу відбувається з критичною швидкістю.

Швидкість витікання етилену визначаємо за формулою (3.5):

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot R \cdot (t_p + 273)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,255}{1,255 + 1} \cdot 296,41 \cdot 288} = 308,25 \text{ м/с},$$

де $t=15^\circ\text{C}$ і $T_p=273+15=298 \text{ К}$ – за умовою задачі.

Визначаємо площу перерізу трубопроводу:

$$f_{mp} = \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2,$$

де: $d_{тр}=0,01 \text{ м}$ – діаметр аварійного трубопроводу – за умовою задачі.

Визначаємо інтенсивність виходу етилену з трубопроводу за формулою (3.16):

$$q = \alpha \cdot f \cdot \omega = 0,65 \cdot 0,00785 \cdot 308,25 = 1,58 \text{ м}^3/\text{с},$$

де $\alpha = 0,65$ – за умовою задачі.

З табл. 1 додатків знаходимо для етилену: $\varphi_n=0,03 \text{ об.ч.}$

Тривалість утворення горючої концентрації в приміщенні цеху визначаємо за формулою (3.14):

$$\tau_r = \frac{V_e}{q} \cdot \ln \frac{1}{1 - \varphi_n} = \frac{700}{1,87} \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,03} = 114 \text{ с},$$

де $V_e=7000 \text{ м}^3$ – за умовою задачі.

Відповідь. Тривалість утворення вибухонебезпечної концентрації в приміщенні становить $\tau_r = 114 \text{ с}$.

Задача 3.4. В ацетиленовий газопровід, який працює під розрідженням, через пошкоджену прокладку у фланці проникає повітря. Визначити концентрацію ацетилено-повітряної суміші, яка утворюється всередині газопроводу, якщо температура газу в трубопроводі $t_p=60^\circ\text{C}$, а температура навколишнього середовища – $t_c=20^\circ\text{C}$. Площа отвору $f=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, витрата ацетилену в газопроводі $q=0,8 \text{ м}^3/\text{с}$, робоче розрідження в лінії $P_p=2,4 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Коефіцієнт витрати прийняти рівним 0,7.

Розв'язок. Визначаємо мольний об'єм повітря при 20°C за формулою (1.11):

$$V_t = V_o \cdot \frac{t_p + 273}{273} \cdot \frac{P_o}{P_{заг}} = 22,4 \cdot \frac{20 + 273}{273} \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 24,04 \text{ м}^3/\text{кмоль}$$

Визначаємо густину повітря, яке проникає в трубопровід:

$$\rho_n = \frac{M_n}{V_t} = \frac{28,96}{24,04} = 1,2 \text{ кг/м}^3;$$

де: $M_n=28,96$ – молекулярна маса повітря.

Визначаємо кількість повітря, яке проникає в газопровід за формулою (3.7):

$$Q_n = f \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_p}{\rho_n} \cdot \frac{(t_p + 273) \cdot \tau}{t_n + 273}} =$$

$$= 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2,4 \cdot 10^4}{1,2} \cdot \frac{(60 + 273) \cdot \tau}{15 + 273}} = 0,32 \cdot \tau \text{ м}^3$$

де: $f=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; $P_p=2,4 \cdot 10^4 \text{ Па}$; $t_p=60^\circ\text{C}$; $t_c=20^\circ\text{C}$; $\alpha=0,7$ – за умовою задачі.

Визначаємо інтенсивність проникнення повітря в трубопровід за формулою:

$$I_n = \frac{Q_n}{\tau} = \frac{0,32 \cdot \tau}{\tau} = 0,32 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Визначаємо концентрацію повітря φ_n і ацетилену φ_p в трубопроводі за формулою (1.4):

$$\varphi_n = \frac{I_n}{I_n + q} = \frac{0,32}{0,32 + 0,8} = 0,286 \text{ об.ч. (28,6\% об.)},$$

де: $q=0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ – за умовою задачі.

$$\varphi_p = 1 - \varphi_n = 1 - 0,286 = 0,714 \text{ об.ч. (71,4\% об.)}.$$

Відповідь. Концентрація ацетилено-повітряної суміші, яка утворюється всередині газопроводу, становить $\varphi_p = 0,714 \text{ об.ч. (71,4\% об.)}$.

Задача 3.5. Визначити кількість толуолу, який надходить в приміщення при повному руйнуванні апарата об'ємом $V_{\text{ап}}=3 \text{ м}^3$ під час його заповнення продуктом по трубопроводу діаметром $d_{\text{вн.}}=0,05 \text{ м}$. Від'єднання насоса і засувок автоматичне. Ступінь заповнення апарата до моменту аварії $\varepsilon=0,9$. Витрата $q=0,05 \text{ л/с}$, довжина трубопроводу (від апарата до засувки) $l_{\text{тр}}=10 \text{ м}$. Температура продукту в апараті $t_p=20^\circ\text{C}$.

Розв'язок. Визначаємо площу перерізу нагнітального трубопроводу:

$$f_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн.}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

де: $d_{\text{вн.}}=0,05 \text{ м}$ – діаметр трубопроводу за завданням.

З табл.4 додатків знаходимо густину толуолу при робочій температурі $t=20^\circ\text{C}$:

$$\rho=865,8 \text{ кг/м}^3.$$

Приймаємо тривалість автоматичного від'єднання засувок і насоса $\tau=120\text{с}$.

Визначаємо кількість толуолу, яка надійде в приміщення при аварії за формулою (3.9):

$$m_p = \left(V_{an} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{iH} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jTP} \cdot f_{jTP} \right) \cdot \rho_P =$$

$$= (3 \cdot 0,9 + 5 \cdot 10^{-4} + 10 \cdot 1,96 \cdot 10^{-3}) \cdot 865,5 = 2406,5 \text{ кг}$$

де: $V_{an}=3 \text{ м}^3$; $\varepsilon=0,9$; $l_{TP}=10 \text{ м}$; $q=0,05 \text{ л/с}=0,0005 \text{ м}^3/\text{с}$ – за завданням.

Визначаємо об'єм толуолу, який вилився з апарата:

$$V_p = \frac{m_p}{\rho} = \frac{2406,5}{865,8} = 2,78 \text{ м}^3.$$

Відповідь. При повному руйнуванні апарата в приміщення надійде $V_p = 2,78 \text{ м}^3$ толуолу.

Задача 3.6. Визначити час випаровування горючої рідини в кількості, яка достатня для утворення горючої суміші в 5% вільного об'єму приміщення, якщо відбулося руйнування апарата під час його наповнення (по трубопроводу діаметром 0,05 м). Від'єднання насоса і засувок автоматичне. Вентиляція під час аварії не працювала. Горюча рідина – толуол, об'єм приміщення 30х40х5 м, температура повітря в приміщенні 20°C, об'єм апарату 3 м³; робоча температура толуолу в апараті 40°C, ступінь заповнення апарата в момент аварії 0,9, продуктивність насоса 0,05 л/с.

Розв'язок. Визначаємо кількість толуолу, що надходить в приміщення при аварії за формулою (3.9):

$$m_p = \left(V_{an} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{iH} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jTP} \cdot f_{jTP} \right) \cdot \rho_P =$$

$$= (3 \cdot 0,9 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 120 + 10 \cdot 1,96 \cdot 10^{-3}) \cdot 847,4 = 2355,4 \text{ кг},$$

де: $V_{an}=3 \text{ м}^3$; $\varepsilon=0,9$; $l_{TP}=10 \text{ м}$; $q=0,05 \text{ л/с}=0,0005 \text{ м}^3/\text{с}$ – за завданням.

Визначаємо об'єм толуолу, який вилився з апарата:

$$V_p = \frac{m_p}{\rho} = \frac{2355,4}{847,4} = 2,78 \text{ м}^3.$$

Площа випаровування приймається рівною площі підлоги приміщення, оскільки вся підлога буде залита толуолом (за умови, що 1 л толуолу розливається на площі 1 м², можлива площа розливу становитиме 2780 м²).

Час випаровування толуолу визначаємо за формулою:

$$\tau_e = \frac{8,64 \cdot 10^4 \cdot V_n \cdot \varphi_n^*}{K \cdot P_s \cdot \sqrt{M} \cdot F} = \frac{8,64 \cdot 10^4 \cdot 4800 \cdot 48,16}{1 \cdot 4954,8 \cdot \sqrt{92,14} \cdot 1200} = 349,9 \text{ с.}$$

Відповідь. Час випаровування толуолу 349,9 с.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

3.1. Визначити об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій, який може утворитися внаслідок повного випаровування горючої рідини, яка вилилась назовні при локальному пошкодженні днища апарата (аварія ліквідована через 10 хв). Вентиляція в приміщенні відсутня. Вільний об'єм приміщення $(850 \cdot N) \text{ м}^3$, а площа підлоги $(120 \cdot N) \text{ м}^2$ (де N – номер варіанта задачі). Діаметр отвору в днищі апарата $d_{\text{отв.}}$, вид ЛЗР, робочий тиск в апараті P_p , температура рідини і повітря в приміщенні t_p , а також висота стовпа рідини H наведені в табл. 3.1. Коефіцієнт витрати прийняти рівним 0,4.

Таблиця 3.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рідина	ацетон	толуол	етанол	бензол	метанол	ацетон	етанол	метанол	бензол	толуол
$d_{\text{отв.}}$, м	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5	4,0	3,5
P_p , МПа	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
t_p , °С	20	18	26	20	22	18	20	28	26	22
H , м	5	4	3	2	1	2	3	4	5	3

3.2. Визначити об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій і за необхідності тривалість утворення ВНК у всьому об'ємі виробничого приміщення при локальному пошкодженні апарата з горючим газом (пошкодження ліквідовано через 15 хв). Приміщення обладнане аварійною вентиляцією кратністю $A \text{ год}^{-1}$. Вид горючого газу, діаметр отвору в стінці апарата $d_{\text{отв.}}$ м, робочий тиск в апараті P_p МПа, геометричний об'єм приміщення $V_r \text{ м}^3$ наведені в табл. 3.2. Коефіцієнт витрати вважати рівним 0,65, а температуру газу в апараті – рівною 20°С.

Таблиця 3.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	етан	етилен	метан	сірко-водень	водень	аміак	етан	етилен	метан	водень
$d_{\text{отв.}}$, м	15	20	25	30	10	15	20	25	30	15
P_p , МПа	0,8	0,9	1,0	0,5	1,2	1,1	1,0	0,8	0,4	0,9
V_r , м^3	600	900	1200	2000	1500	1200	1600	2000	2400	800
A , 1/год	4	5	6	7	8	9	10	7	8	10

3.3. До колектора газового компресора, що працює під розрідженням, проникає повітря через утворену тріщину у зварному шві. Компресор стискає чистий горючий газ. Визначити концентрацію повітря в колекторі після його

пошкодження і дати висновок про пожежонебезпеку утвореної газоповітряної суміші, якщо температура газу в колекторі $t_p=40$ °С, а температура навколишнього середовища – $t_c=20$ °С. Вид горючого газу в колекторі, площа отвору $f_{отв.}$ м², витрата газу q м³/год і розрідження в колекторі P_B Па наведені в табл. 3.3. Коефіцієнт витрати вважати рівним 0,27.

Таблиця 3.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	ацетилен	водень	оксид вуглецю	етан	ацетилен	метан	оксид вуглецю	етилен	водень	метан
$f_{отв.}$, м ²	8	10	12	14	16	18	20	21	22	23
q , м ³ /год	0,5	2,6	10,7	8,8	6,9	12,0	4,1	7,2	8,3	1,4
$P_B \cdot 10^{-3}$, Па	20	10	4	0,6	15	0,1	8	0,2	12	20

3.4. Запропонувати обґрунтовані розрахунками заходи протипожежного захисту, які спрямовані на зменшення площі розливу рідини на підлозі виробничого приміщення при повному руйнуванні апарата. В момент аварії здійснювалось наповнення рідини в апарат відцентровим насосом по трубопроводу діаметром 0,07 м. Від'єднання насоса і засувки на проводиться вручну. Геометричний об'єм апарата, ступінь його заповнення (на момент аварії) пожежонебезпечною рідиною, а також інші дані для розрахунку наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	ацетон	толуол	етанол	метанол	бензол	ацетон	толуол	етанол	метанол	бензол
Об'єм апарата, м ³	0,5	0,8	1,0	1,5	1,8	2,0	2,3	2,9	3,0	3,5
Ступінь заповнення	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,9	0,95	0,85	0,7	0,75
Продуктивність насоса, л/с	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,5	1,5
Довжина трубопроводу, м	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
Температура рідини і	18	20	25	17	22	23	21	26	19	24

повітря, °С										
Площа підлоги, м ²	140	120	100	80	150	130	110	160	170	180

3.5. Виходячи з умов вибухобезпеки визначити гранично допустиму для людей масу етилену, що надійшов в приміщення компресорної станції при аварії нагнітального трубопроводу, а також тривалість утворення вибухонебезпечної суміші у всьому об'ємі приміщення компресорної станції. Розглянути такі ситуації: 1) в момент аварії була ввімкнута аварійна вентиляція кратністю А; 2) аварійна вентиляція не працювала. Температура етилену в трубопроводі $t_p=15$ °С. Тиск етилену в трубопроводі P_p , діаметр трубопроводу $d_{тр.}$, вільний об'єм приміщення V_v наведені в табл. 3.5. Коефіцієнт витрати вважати рівним 0,65.

Таблиця 3.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_p , МПа	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	2,8	1,8	1,2	0,8	1,1
$d_{тр.}$, м	50	70	80	90	60	55	75	85	65	45
$V_v \cdot 10^{-3}$, м ³	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	4,0	4,5
А, 1/год	10	12	8	9	11	15	13	12	14	10

3.6. Вилучення борошняного пилу з головок елеваторів в приміщенні комбікормового цеху розмірами 48x24x12 м здійснюється системою пневмотранспорту в збірник-сепаратор пилу. Коефіцієнт вільного об'єму приміщення рівний 0,7.

Дати висновок про можливість утворення вибухонебезпечної пило-повітряної суміші у всьому об'ємі приміщення цеху при аварії на виробництві. Частка горючого пилу в загальній масі відкладеного пилу рівна 0,8, а дисперсність горючого пилу не перевищує 350 мкм. В момент аварії в сепараторі знаходилось $m_{ап}$ кг борошняного пилу. Система пневмотранспорту від'єднується вручну. Продуктивність системи пневмотранспорту q , коефіцієнт ефективності пилоприбирання $K_{п}$ наведені в табл. 3.6. Нижню концентраційну межу поширення полум'я борошняного пилу вважати рівною 37 г/м³. Насипна щільність пилу 350 кг/м³. За період часу між прибираннями товщина шару пилу на доступних для прибирання поверхнях площею 1000 м² становила δ_d мм, а на недоступних для прибирання поверхнях площею 400 м² – δ_n мм.

Таблиця 3.6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ_d , мм	0,1	0,05	0,08	0,07	0,12	0,03	0,09	0,08	0,1	0,11
δ_n , мм	0,15	0,12	0,15	0,13	0,16	0,15	0,16	0,17	0,15	0,17
$m_{ап}$, кг	12	20	10	25	15	18	22	28	14	21
q , кг/хв	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03
$K_{п}$	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,8

3.7. В приміщенні механічного цеху для обробки сталевих і чавунних заготовок знаходиться дільниця нанесення маркування на готові вироби методом шовкографії. В якості лакофарбового матеріалу використовується емаль, яка містить у % мас. розчинника. Визначити максимальну безпечну для людей кількість емалі, яка може знаходитися в приміщенні цеху на дільниці нанесення маркування. Вид розчинника, вміст його в емалі X , вільний об'єм приміщення V_v і температуру повітря в приміщенні взяти з табл.3.7. Вентиляція в приміщенні в момент аварійної ситуації (розлив емалі на підлозі приміщення цеху) не працювала. Тривалість аварійного режиму не перевищувала 1 год. Висота цеху 8 м.

Таблиця 3.7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розчинник	ацетон		бензол		н-гептан		метанол		толуол	
P_p , МПа	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	2,8	1,8	1,2	0,8	1,1
X , % мас.	60	80	50	75	65	85	60	85	50	80
$V_v \cdot 10^{-3}$, M^3	1,2	1,5	1,7	2,0	1,0	1,6	0,8	1,3	1,4	1,8
$t_{п}$ °С	16	21	18	24	22	25	24	28	22	26

3.8. Визначити максимальну безпечну для людей кількість горючого газу, який може знаходитися в пробовідбірнику, який надходить для аналізу складу газу в заводську лабораторію. Визначити також допустимий об'єм пробовідбірника, якщо тиск газу в ньому рівний P_p . Вид горючого газу, вільний об'єм лабораторії V_v , температуру повітря в приміщенні $t_{п}$ взяти з табл. 3.8. Вентиляція в лабораторії в момент аварійного руйнування пробовідбірника не працює.

Таблиця 3.8

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	водень	метан	бутан	етан	пропан	водень	метан	бутан	етан	пропан
P_p , МПа	0,2	0,3	0,4	0,25	0,35	0,45	0,3	0,2	0,15	0,5
$V_B \cdot 10^{-3}$, м ³	0,3	0,4	0,2	0,5	0,4	0,35	0,3	0,4	0,2	0,7
$t_{п}$ °С	18	20	22	24	25	19	21	23	20	19

3.9. Визначити кількість парів ЛЗР, яка випарується у виробниче приміщення за одну годину при локальному пошкодженні технологічного апарата, якщо аварія була ліквідована за час t . Вид рідини, коефіцієнт витрат, діаметр отвору в стінці апарата, робоча температура рідини, рівень рідини, робочий тиск в апараті та значення коефіцієнта η вибираються з таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	етанол	толуол	ацетон	бензол	метанол	етанол	толуол	ацетон	бензол	метанол
Час ліквідації аварії, хв	10	12	13	15	18	20	23	25	28	30
Коефіцієнт витрат	0,5	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60
Рівень рідини, м	1,5	1,7	1,9	2,7	2,2	2,5	3,7	1,4	2,3	4,2
Діаметр отвору в стінці апарата $d_{отв.}$, см	1,5	2,4	3,5	0,6	1,7	2,8	0,9	1,0	2,5	3,5
Робочий тиск, МПа	0,30	0,40	0,20	0,25	0,15	0,35	0,45	0,15	0,25	0,33
Температура рідини, °С	18	20	25	17	22	23	21	26	19	24
Коефіцієнт η	2,4	1,3	2,5	2,8	3,3	2,0	2,6	1,2	2,3	2,7

1.4. ПРИЧИНИ ПОШКОДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

1. Підвищений тиск, що призводить до пошкодження апаратів і трубопроводів, утворюється при збільшенні опору в лініях (за насосами та компресорами). Величину перепаду тиску в лініях для подолання опору і створення необхідної швидкості продукту ΔP визначають за формулою:

$$\Delta P = \left(\sum_{i=1}^n \zeta_i + \lambda \cdot \frac{l}{d} \right) \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_t}{2}, \quad (4.1)$$

а загальний тиск з виразу:

$$P_k = P_n + \Delta P, \quad (4.2)$$

де: ΔP – втрати тиску при збільшенні опору ліній, [Па]; P_k – кінцевий тиск в системі при збільшенні опору ліній, [Па]; ζ_i – коефіцієнт місцевого i -го опору (табл.16 додатків); λ – коефіцієнт опору тертя, який визначається залежно від режиму руху продукту за такими формулами (для труб круглого перерізу):

$$\text{при } Re \leq 2300 \quad \lambda = \frac{64}{Re}, \quad (4.3)$$

$$\text{при } 2320 < Re \leq 10000 \quad \lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}, \quad (4.4)$$

$$\text{при } Re > 10000 \quad \lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (4.5)$$

де: d – внутрішній діаметр трубопроводу, [м]; Δ – абсолютна шорсткість

стінок труб, [м]; $Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_t}{\mu}$ – число Рейнольдса; ω – швидкість

руху продукту в трубопроводі, [м/с]; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості продукту при робочій температурі (див. табл. 11 додатків), [Па·с]; d – діаметр трубопроводу, [м]; ρ_t – густина продукту при робочій температурі, [кг/м³].

В розрахунках приймають такі значення величини Δ [м]:

- для нових сталевих суцільнотягнутих і зварних, а також оцинкованих труб $\Delta = (0,1 - 0,2) \cdot 10^{-3}$;
- для нових чавунних труб $\Delta = 0,3 \cdot 10^{-3}$;
- для суцільнотягнутих і зварних сталевих труб з незначною корозією $\Delta = (0,2 - 0,3) \cdot 10^{-3}$;
- для старих сталевих труб, які піддалися значній корозії,
 $\Delta = 0,7 \cdot 10^{-3}$ і вище;

- для старих чавунних труб $\Delta = 0,4 \cdot 10^{-3}$ і вище.

2. Тиск в герметичних апаратах з газами чи перегрітими парами при підвищенні температури визначають за формулою:

$$P_{\kappa} = P_n \cdot \frac{t_{\kappa} + 273}{t_n + 273} \cdot z, \quad (4.6)$$

де: P_n – початковий тиск в апараті, [Па]; t_n, t_{κ} – відповідно початкова і кінцева температура газу, [°C]; z – коефіцієнт стисливості газу ($z < 1$).

3. Кінцевий тиск в апаратах з насиченими парами рідин і наявністю рідкої фази при зміні температури визначається з виразу:

$$P_{\kappa} = P_s = f(T_{\kappa}), \quad (4.7)$$

де: P_s – тиск насиченої пари при температурі t_{κ} , Па; (обчислюється за формулою (1.9)).

4. Приріст тиску в герметичному апараті чи на ділянці трубопроводу, який повністю заповнений рідиною, при підвищенні температури визначають за формулою:

$$\Delta P = \frac{\beta - 3 \cdot \alpha}{\beta_{cm}} \cdot \Delta t, \quad (4.8)$$

де: β – коефіцієнт об'ємного розширення скраплених газів, [K⁻¹] (табл. 12 додатків); β_{cm} – коефіцієнт об'ємного стиснення рідини, [м²/Н (Па⁻¹)]; α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стінок апарата, K⁻¹; $\Delta t = t_{\kappa} - t_n$ – зміна температури в апараті, [°C].

При проведенні технічних розрахунків можна використовувати спрощену формулу (похибка розрахунків у порівнянні з формулою (4.8) не перевищує 5 – 7%):

$$\Delta P = \frac{\beta}{\beta_{cm}} \cdot \Delta t. \quad (4.9)$$

Допустимий ступінь заповнення ємнісних апаратів рідиною розраховують за формулою:

$$\varepsilon \leq 1 - \beta \cdot \Delta t_{\max}, \quad (4.10)$$

де: ε – ступінь заповнення апарата; $\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_{\min}$ – граничний очікуваний перепад температур, який може спостерігатися при експлуатації апарата, [°C].

Оптимальний (необхідний) вільний об'єм апарата, який не заповнений рідиною, визначають за формулою:

$$V_{\varepsilon} \geq V_{an} \cdot \Delta \beta \cdot \Delta t_{\max}, \quad (4.11)$$

де: V_{an} – повний внутрішній (геометричний) об'єм апарата, м³.

5. Приріст тиску у високотемпературних апаратах при потраплянні в них низькокиплячих рідин і швидкому їх закипанні визначають за формулою:

$$\Delta P = 0,082 \cdot P_o \cdot \frac{m \cdot (t_p + 273)}{M \cdot V_g}, \quad (4.12)$$

де: m – маса низькокиплячої рідини, яка потрапила в апарат і випарувалась, [кг]; t_p – робоча температура а апараті, [°С]; M – молекулярна маса рідини, яка потрапила в апарат, [кг/кмоль].

6. Приріст тиску в трубопроводі при гідравлічному ударі визначають за формулою М.Є.Жуковського:

$$\Delta P = c \cdot \Delta \omega \cdot \rho_t, \quad (4.13)$$

де: c – швидкість поширення ударної хвилі, яка розраховується за формулою:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho_t \cdot \beta_{cm}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{d}{E \cdot s \cdot \beta_{cm}}}}, \quad (4.14)$$

де: ρ_t – густина рідини при робочій температурі, [кг/м³]; d – внутрішній діаметр труби, [м]; E – модуль пружності матеріалу труби, [Па] (табл. 17 додатків); s – товщина стінки труби, [м]; $\Delta \omega$ – зменшення швидкості руху рідини в трубопроводі, [м/с]; визначається за формулою:

$$\Delta \omega = \omega_{поч} - \omega_{кін}, \quad (4.15)$$

де: $\omega_{поч}$ – початкова швидкість руху продукту в трубопроводі, м/с; $\omega_{кін}$ – кінцева швидкість руху продукту в трубопроводі, м/с; (часто $\omega_{кін} = 0$).

7. Допустимі напруження для матеріалу обладнання залежать від механічних властивостей цього матеріалу, робочої температури, характеру навантаження і умов роботи апарата або трубопроводу.

Якщо робоча температура не перевищує для вуглеводневих і низьколегованих сталей 380 °С, а для високолегованих сталей 525 °С, то нормативним допустимим напруженням вважають найменше з таких значень:

$$\sigma_{дон} = \min \left[\frac{\sigma_m}{n_m}; \frac{\sigma_m}{n_m} \right], \quad (4.16)$$

де: $\sigma_{дон}$ – нормативне допустиме напруження, [Па]; σ_m , σ_m – відповідно границя міцності і текучості матеріалу, [Па]; n_m , n_m – запаси міцності

відповідно по границі міцності і границі текучості; як правило, при розрахунках хімічного і нафтохімічного обладнання вважають $n_m = 2,7 - 4,25$ і $n_n = 1,2 - 1,9$.

При вищих температурах нормативним допустимим напруженням вважають:

$$\sigma_{don} = \min \left[\frac{\sigma_m^t}{n_m}; \frac{\sigma_n^t}{n_n} \right], \quad (4.17)$$

де: σ_m^t , σ_n^t – відповідно границя текучості і повзучості при робочих температурах, [Па]; n_n – запас міцності за границею повзучості, $n_n=1,15$.

Значення нормативних допустимих напружень залежно від температури для деяких марок сталі наведені в довідниках.

Розрахункові допустимі напруження для апаратів з горючими рідинами, паром і газами визначають за формулою:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{don}, \quad (4.18)$$

де: η – поправковий коефіцієнт, який визначається з таких вимог:

φ_n , об. частки	$t_{сз}$, °C	η
Менше 0,05	Менше 300	0,9
0,05 – 0,1	300 – 400	0,95
0,1 і більше	450 і більше	1,0

Небезпека руйнування апаратів і їх вузлів виникає, якщо не виконується умова міцності:

$$\sigma \leq [\sigma], \quad (4.19)$$

де: σ – фактичне напруження, яке виникає в обладнанні, [Па].

8. Величину температурних напружень σ_t , які виникають від нагрівання в жорстко закріплених ділянках трубопроводу чи вузлах апарата, визначають за формулою:

$$\sigma_t = \alpha \cdot \Delta t \cdot E, \quad (4.20)$$

де: Δt – зміна температури, [град].

9. Температурні напруження в теплообмінних апаратах з жорстким з'єднанням корпусу і трубок визначають за формулами:

$$\sigma_{max}^k = \frac{P_t}{F_k} \pm \frac{P \cdot E_k}{E_k \cdot F_k + E_m \cdot F_m}, \quad (4.21)$$

$$\sigma_{max}^m = \frac{P_t}{F_m} \pm \frac{P \cdot E_m}{E_k \cdot F_k + E_m \cdot F_m}, \quad (4.22)$$

де: індекси k і m відносяться до відповідних показників корпусу і трубі; σ_{max} – максимальне напруження в матеріалі, [Па]; F – площа поперечного перерізу, [м²];

$$F_k = \pi \cdot D_k \cdot s_k, \quad (4.23)$$

де: D_k і s_k – відповідно середній діаметр і товщина стінки кожуха теплообмінника, [м].

$$F_m = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_e^2) \cdot z, \quad (4.24)$$

де: d_n і d_e – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри труб, [м]; z – число труб в пучку; P_t – сила, що виникає між жорстко з'єднаним корпусом і трубами теплообмінника (через температурні напруження), визначається за формулою:

$$P_t = \frac{\alpha_t \cdot t_m - \alpha_k \cdot t_k}{\frac{1}{E_k \cdot F_k} + \frac{1}{E_m \cdot F_m}}, \quad (4.25)$$

де: t_n і t_k – розрахункові температури труб і корпусу теплообмінника, [°C]; P – сила, зумовлена тиском середовища в трубному і міжтрубному просторах:

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot [(D_e^2 - z \cdot d_n^2) \cdot P_m + z \cdot d_e^2 \cdot P_m], \quad (4.26)$$

де: D_e – внутрішній діаметр корпусу теплообмінника, [м]; P_m , P_t – відповідно тиск у міжтрубному і трубному просторах, [Па].

Небезпека руйнування теплообмінника виникає, якщо $\sigma_{\max}^k > [\sigma]$ або $\sigma_{\max}^m > [\sigma]$.

10. Температурні напруження в стінках товстостінних апаратів, у яких $(\beta = \frac{D_n}{D_e}) > 1,5$, можна розрахувати за формулами (при перепаді

температур по товщині стінки більше 10 °C):

на внутрішній поверхні

$$\sigma_t^e = \frac{\alpha \cdot E \cdot (t_n - t_e)}{2 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left(\frac{2 \cdot \beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln \beta} \right); \quad (4.27)$$

на зовнішній поверхні

$$\sigma_t^h = \frac{\alpha \cdot E \cdot (t_n - t_e)}{1 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left(\frac{2 \cdot \beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln \beta} \right); \quad (4.28)$$

де: індекси e і h вказують на відношення до внутрішньої або зовнішньої поверхні; μ – коефіцієнт Пуассона (для сталі $\mu=0,23 - 0,33$; для міді $\mu=0,31 - 0,34$; для чавуну $\mu=0,23 - 0,27$; для алюмінію $\mu=0,32 - 0,36$).

Отриманий при обчисленні за вказаними формулами знак вказує на характер напружень: знак плюс відповідає розтягу, знак мінус – стиску.

При $|\sigma_t^e| > [\sigma]$ або $|\sigma_t^h| > [\sigma]$ виникає небезпека пошкодження апарата.

11. При перевірці обладнання на міцність напруження в конструктивних елементах апаратів розраховуються за різними формулами залежно від виду навантаження, форми конструкції тощо. Для циліндричних частин апаратів, що працюють під тиском:

$$\text{при } (\beta = D_n/D_b) \leq 1,5 \quad \sigma = \frac{P \cdot [D_e + (s - c)]}{2 \cdot (s - c) \cdot \varphi}; \quad (4.29)$$

$$\text{при } \beta > 1,5 \quad \sigma = \sqrt{3} \cdot \frac{P \cdot \beta^2}{(\beta^2 - 1) \cdot \varphi}; \quad (4.30)$$

де: σ – напруження в стінці обечайки (циліндричної частини апарата), що працює під тиском, [Па]; P – тиск середовища в апараті, [Па]; φ – коефіцієнт міцності шва; для суцільнокованих, литих і витих посудин $\varphi=1$; при ручній односторонній зварці $\varphi=0,7$; c – додаток на корозію, [м].

Величина додатку на корозію може бути визначена з виразу:

$$c = \Pi \cdot \tau, \quad (4.31)$$

де: Π – швидкість корозії матеріалу, яка як правило вважається не меншою $5 \cdot 10^{-5}$ м/год; τ – тривалість експлуатації обладнання, [год].

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 4.1. Визначити приріст тиску в новому сталевому трубопроводі, яким транспортується бензол. В процесі експлуатації відбулося рівномірне зменшення внутрішнього діаметра трубопроводу по всій його довжині через утворення відкладень. Температура бензолу 20°C , довжина трубопроводу 50 м, початкова швидкість руху продукту 2 м/с, діаметр чистого (без відкладень) трубопроводу $d_1=0,025$ м, ступінь зменшення діаметра трубопроводу без утворення відкладень $\varepsilon=0,6$.

Розв'язок. Визначаємо вільний діаметр трубопроводу на ділянці з відкладеннями:

$$d_2 = d_1 \cdot (1 - \varepsilon) = 0,026 \cdot (1 - 0,6) = 0,01 \text{ м},$$

де: $d_1 = 0,025$ м, $\varepsilon = 0,6$ – за умовою.

Виходячи з рівняння нерозривності потоку визначаємо швидкість руху в звуженому перерізі:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 \cdot f_1}{f_2} = \frac{\omega_1 \cdot d_1}{d_2} = \frac{2 \cdot 0,025^2}{0,01^2} = 12,5 \text{ м/с},$$

де: $\omega_1 = 2$ м/с – за умовою; f_1 і f_2 – переріз трубопроводу до і після утворення відкладень, [м²].

За табл. 4 додатків знаходимо густину бензолу при 20 °С: $\rho_t=879 \text{ кг/м}^3$;
за табл. 11 додатків знаходимо в'язкість бензолу: $\mu=0,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Визначаємо режими руху продукту (числа Рейнольдса) на ділянках трубопроводу діаметром d_1 і d_2 .

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{\text{вн}1}}{\nu} = \frac{2 \cdot 0,025}{0,685 \cdot 10^{-6}} = 7,3 \cdot 10^4,$$

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{\text{вн}2}}{\nu} = \frac{12,5 \cdot 0,01}{0,685 \cdot 10^{-6}} = 1,8 \cdot 10^5,$$

де: $\nu=0,685 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості водяної пари, що приймається за довідковими даними (табл.9 додатків).

Залежно від величини числа Re визначаємо коефіцієнт опору тертя λ за формулами:

при $2320 < Re \leq 10000$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{7,3 \cdot 10^4}} = 0,0192;$$

при $Re > 10000$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{0,01} + \frac{68}{1,8 \cdot 10^5} \right)^{0,25} = 0,0348,$$

де: $\Delta=0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – абсолютна шорсткість стінок нових сталевих труб.

Визначаємо втрати напору (по довжині трубопроводу) за формулою:

А) без відкладень:

$$\Delta P_1 = \frac{\lambda_1 \cdot l \cdot \omega_1^2 \cdot \rho_t}{2 \cdot d_1} = \frac{0,0192 \cdot 50 \cdot 2^2 \cdot 879}{2 \cdot 0,025} = 6,75 \cdot 10^4 \text{ Па} = 0,0675 \text{ МПа},$$

б) з відкладеннями:

$$\Delta P_2 = \frac{\lambda_2 \cdot l_1 \cdot \omega_2^2 \cdot \rho_t}{2 \cdot d_2} = \frac{0,0348 \cdot 50 \cdot 12,5^2 \cdot 879}{2 \cdot 0,01} = 1,195 \cdot 10^7 \text{ Па} = 11,95 \text{ МПа}.$$

Приріст тиску на подолання опору становить:

$$\Delta P = \Delta P_2 - \Delta P_1 = 11,9 - 0,0675 = 11,88 \text{ МПа},$$

Відповідь. Приріст тиску в новому сталевому трубопроводі, яким транспортується бензол складає $\Delta P = 11,88 \text{ МПа}$.

Задача 4.2. Визначити кінцевий тиск в апараті, який повністю заповнений скрапленим аміаком. Відомо, що початковий тиск був рівний 2,0 МПа. Стінки апарата виготовлені з сталі марки 20ХМ і розраховані на максимальний тиск 15 МПа. Коефіцієнт лінійного розширення сталі α в інтервалі температур від 263 до 393 К рівний $11 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$. Початкова і кінцева температура в апараті становить 283 К і 323 К відповідно.

Розв'язок. За табл. 6. додатків знаходимо коефіцієнти об'ємного розширення скрапленого аміаку:

при $T_{\text{п}}=283 \text{ К}$ $\beta_1=0,00313 \text{ К}^{-1}$;

при $T_k=323 \text{ K}$ $\beta_2=0,00217 \text{ K}^{-1}$;

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \frac{0,00313 + 0,00217}{2} = 0,00265 \text{ K}^{-1}.$$

За табл. 7 додатків знаходимо коефіцієнти об'ємного стиснення скрапленого аміаку:

при $T_{п}=283 \text{ K}$ $\beta_{ст.1}=220 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$;

при $T_k=323 \text{ K}$ $\beta_{ст.2}=123 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$;

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \frac{(220 + 123) \cdot 10^{-11}}{2} = 171,5 \cdot 10^{-11} \text{ Па}^{-1}.$$

Визначаємо приріст тиску в апараті за формулою:

$$\Delta P = \frac{\beta - 3 \cdot \alpha}{\beta_{ст}} \cdot \Delta T = \frac{0,00265 - 3 \cdot 11 \cdot 10^{-6}}{171,5 \cdot 10^{-11}} \cdot (323 - 283) = 61,04 \cdot 10^6 \text{ Па} = 61,04 \text{ МПа}.$$

Кінцевий тиск в апараті $P_k = P_n + \Delta P = 2 + 61,04 = 63,04 \text{ МПа}$.

Відповідь. Кінцевий тиск становить $P_k = 63,04 \text{ МПа}$, що значно перевищує граничний тиск, на який розрахований апарат.

Задача 4.3. Оцінити кінцевий тиск в ректифікаційній колоні, якщо протягом деякого часу буде зупинена подача води на конденсацію пари. Колона призначена для розділення суміші етиловий спирт – вода. Ступінь неповноти конденсації $\alpha=5\%$. Вільний об'єм колони 50 м^3 ; температура низу колони 395 K , верху 360 K . Тиск в колоні (при нормальному режимі роботи) $P_p=0,16 \text{ МПа}$; продуктивність колони (по парі етилового спирту) $C_{п}=6 \text{ кг/с}$; тривалість порушення нормального режиму конденсації $\tau=50 \text{ хв}$).

Розв'язок. Визначаємо густину парів етанолу при робочих умовах у верхній частині колони:

$$\rho_t = \frac{M}{V_o} \cdot \frac{T_o}{T_p} \cdot \frac{P_p}{P_o} = \frac{46,07 \text{ М}}{22,41} \cdot \frac{273}{360} \cdot \frac{0,16}{0,1} = 2,49 \text{ кг/м}^3,$$

де: $M=46,07$ – молекулярна маса етанолу (табл. 1 додатків);

$V_o=22,41 \text{ м}^3/\text{кмоль}$; $T_o=273 \text{ K}$; $P_o=0,1 \text{ МПа}$; $T_p=360 \text{ K}$; $P_p=0,16 \text{ МПа}$ – за умовою.

Визначаємо приріст тиску в колоні за формулою:

$$\Delta P = P_o \cdot \frac{\alpha \cdot G_n \cdot \tau}{100 \cdot V_v \cdot \rho_t} = 0,1 \cdot \frac{5 \cdot 6 \cdot 3000}{100 \cdot 50 \cdot 2,49} = 0,72 \text{ МПа},$$

де: $\alpha=5\%$; $G_{п}=6 \text{ кг/с}$; $\tau=50 \text{ хв}=3000 \text{ с}$; $V_v=50 \text{ м}^3$ – за умовою.

Кінцевий тиск у верхній частині колони
 $P_k = P_n + \Delta P = 0,16 + 0,72 = 0,88 \text{ МПа}$.

Відповідь. Кінцевий тиск у верхній частині колони становить $P_k = 0,88 \text{ МПа}$.

Задача 4.4. Оцінити можливість руйнування апарата об'ємом 20 м^3 , який на 80% заповнений кам'яновугільним маслом (при температурі 593 К), якщо до нього помилково було подано низькокиплячу рідину – етилбензол. Кількість етилбензолу, який потрапив до апарата, $m=90 \text{ кг}$. Робочий тиск в апараті $P_p=0,75 \text{ МПа}$. Матеріал апарата – сталь 15ХМ ($\sigma_s = 450 \text{ МПа}$); діаметр апарата $D_B=3,5 \text{ м}$; товщина стінки 14 мм . Додаток на корозію прийняти рівним 1 мм .

Розв'язок. Визначаємо приріст тиску при швидкому випаровуванні етилбензолу в апараті за формулою (4.12):

$$\Delta P = 0,082 \cdot P_o \cdot \frac{m \cdot (t_p + 273)}{M \cdot V_g} = 0,082 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot \frac{90 \cdot 593}{106,17 \cdot 4} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1,03 \text{ МПа}$$

де: $m=90 \text{ кг}$ – маса низькокиплячої рідини, яка потрапила в апарат і випарувалась; $T_p = 593 \text{ К}$ – робоча температура в апараті; $M=106,17 \text{ кг/кмоль}$ – молекулярна маса етилбензолу, який потрапив в апарат (табл. 1 додатків); $V_B=20 \cdot (100-80)/100=4 \text{ м}^3$ – за умовою;

$$\text{Кінцевий тиск в апараті } P_k = P_p + \Delta P = 0,75 + 1,03 = 1,78 \text{ МПа} = 1,78 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

де: $P_p = 0,75 \text{ МПа}$ – за умовою.

Визначаємо величину β за формулою:

$$\beta = \frac{D_H}{D_g} = \frac{3,528}{3,5} = 1,008 < 1,5,$$

Визначаємо напруження в стінках апарата за формулою:

$$\sigma = \frac{P \cdot [D_g + (s - c)]}{2 \cdot (s - c) \cdot \varphi} = \frac{1,78 \cdot 10^6 \cdot [3,5 + (0,014 - 0,001)]}{2 \cdot (0,014 - 0,001) \cdot 1} = 2,09 \cdot 10^8 \text{ Па,}$$

де: $D_B=3,5 \text{ м}$; $s=14 \text{ мм}=0,014 \text{ м}$; $D_H=D_B+2 \cdot s=3,5+2 \cdot 0,014=3,528 \text{ м}$; $c=1 \text{ мм}=0,001 \text{ м}$; $\varphi=1$ – за умовою.

Допустиме напруження визначаємо за формулою:

$$\sigma_{дон} = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{450 \cdot 10^6}{4,25} = 1,059 \cdot 10^8 \text{ Па,}$$

де: $\sigma_s = 450 \cdot 10^6 \text{ Па}$; $n_B=4,25$ – за умовою.

Знаходимо поправковий коефіцієнт $\eta=0,9$, так як $(\varphi_H=0,01 \text{ об. ч.}) < 0,05 \text{ об.ч.}$

Визначаємо розрахункові допустимі напруження за формулою (4.18):

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{\text{дон}} = 0,9 \cdot 1,059 \cdot 10^8 = 0,953 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

Умова міцності (4.19) не виконується, оскільки

$$(\sigma = 2,09 \cdot 10^8 \text{ Па}) > ([\sigma] = 0,953 \cdot 10^8 \text{ Па}).$$

Відповідь. Отже потрапляння в апарат етилбензолу в кількості 90 кг з подальшим швидким його закипанням призведе до руйнування апарата.

Задача 4.5. Оцінити можливість пошкодження магістрального нафтопроводу при швидкому перекритті засувки. Робочий тиск нафти в трубопроводі 4,5 МПа. Густина нафти 830 кг/м³. Матеріал трубопроводу – сталь 17Г1С. Модуль пружності $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Па, для нафти $\beta_{\text{ст}}=0,74 \cdot 10^{-9}$ Па. Продуктивність магістрального нафтопроводу $Q=10000$ м³/год, зовнішній діаметр труби $D_3=0,82$ м, товщина стінки $s=10$ мм. Пробний тиск при гідравлічному випробуванні трубопроводу $P_r=5,6$ МПа.

Розв'язок. Визначаємо площу прохідного перерізу трубопроводу:

$$F = \frac{\pi \cdot D_e}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_3 - 2 \cdot s)^2 = \frac{3,14}{4} \cdot (0,82 - 2 \cdot 0,01)^2 = 0,503 \text{ м}^2,$$

де: $D_3=0,82$ м, $s=10$ мм – за умовою.

Визначаємо швидкість руху нафти з рівняння витрати:

$$\omega = \frac{Q}{F} = \frac{10000}{0,503} = 19880,7 \text{ м/год або } 5,52 \text{ м/с},$$

де: $Q=10000$ м³/год – за умовою.

Визначаємо швидкість поширення ударної хвилі при швидкому перекритті засувки за формулою (4.14):

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho_t \cdot \beta_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{d}{E \cdot s \cdot \beta_{\text{ст}}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{830 \cdot 0,74 \cdot 10^{-9}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0,8}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,01 \cdot 0,74 \cdot 10^{-9}}}}} = 1036,4 \text{ м/с},$$

де: $D_e = D_3 - 2 \cdot s = 0,82 - 2 \cdot 0,01 = 0,8$ м.

Визначаємо максимальне зменшення швидкості нафти в трубі за формулою (4.15):

$$\Delta\omega = \omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{кін}} = 5,52 - 0 = 5,52 \text{ м/с}.$$

Визначаємо приріст тиску в трубопроводі при гідравлічному ударі за формулою (4.13):

$$\Delta P = c \cdot \Delta\omega \cdot \rho_t = 1036,4 \cdot 5,52 \cdot 830 = 4,75 \cdot 10^6 \text{ Па} = 4,75 \text{ МПа}.$$

Визначаємо кінцевий тиск нафти в трубопроводі за формулою (4.2):

$$P_k = P_n + \Delta P = 4,5 + 4,75 = 9,25 \text{ МПа.}$$

Відповідь. Таким чином тиск в трубопроводі при гідрударі значно перевищує допустимий тиск ($P_k = 9,25 \text{ МПа}$) > ($P_z = 5,6 \text{ МПа}$), що може призвести до руйнування трубопроводу.

Задача 4.6. Визначити напруження в корпусі і трубках кожухотрубчастого теплообмінника з нерухомими трубними решітками. Довжина трубок $l=5$ м, число трубок $z=121$ шт., зовнішній діаметр трубок $d_3=0,025$ м. Тиск в трубному просторі $P_T=1,6$ МПа; в міжтрубному просторі $P_M=0,6$ МПа. Корпус і труби виготовлені з сталі ВСт3Гпс5. Товщина кожуха $S_K=0,004$ м, внутрішній діаметр кожуха $D_B=0,4$ м, температура кожуха $t_K=150^\circ\text{C}$, товщина трубок $S_T=2$ мм, температура трубок $t_T=90^\circ\text{C}$.

Розв'язок

Визначаємо площу поперечного перерізу труб:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (d_3^2 - d_6^2) \cdot z = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 121 = 0,01747 \text{ м}^2,$$

де: $d_3=0,025$ м; $d_6 = d_3 - 2 \cdot S_T = 0,025 - 2 \cdot 0,002 = 0,021$ м; $S_T=2$ мм=0,002 м; $z=121$ шт. – за умовою.

Визначаємо площу перерізу кожуха:

$$F = \pi \cdot (D_3 + S_K) S_K = 3,14 \cdot (0,4 + 0,004) \cdot 0,04 = 0,006074 \text{ м}^2,$$

де: $D_B=0,4$ м, $S_K=0,004$ м – за умовою.

Знаходимо коефіцієнт лінійного розширення і модуль пружності сталі ВСт3Гпс5 (табл. 17 додатків):

$$\alpha_T = \alpha_K = \alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1};$$

$$E_T = E_K = E = 1,9 \cdot 10^{11} \text{ Па.}$$

Визначаємо силу, яка виникає між корпусом і трубами за рахунок температурних напружень, за формулою (4.25):

$$P_t = \frac{\alpha_t \cdot t_m - \alpha_k \cdot t_k}{\frac{1}{E_k \cdot F_k} + \frac{1}{E_m \cdot F_m}} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^{11} \cdot (90 - 150)}{\frac{1}{0,005074} + \frac{1}{0,01747}} =$$

$$= -5,4 \cdot 10^5 \text{ Па чи } (-0,54) \text{ МПа.}$$

Визначаємо силу, яка зумовлена тиском середовища в трубному і міжтрубному просторі, за формулою (4.26):

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot [(D_6^2 - z \cdot d_n^2) \cdot P_m + z \cdot d_6^2 \cdot P_T] =$$

$$= \frac{3,14}{4} \cdot [(0,4^2 - 121 \cdot 0,025^2) \cdot 0,6 + 121 \cdot 0,021^2 \cdot 1,6] = 0,107 \text{ МПа.}$$

Визначаємо напруження в корпусі за формулою (4.21):

$$\sigma_{\max}^{\kappa} = \frac{P_t}{F_{\kappa}} \pm \frac{P \cdot E_{\kappa}}{E_{\kappa} \cdot F_{\kappa} + E_m \cdot F_m} =$$

$$= -\frac{0,54}{0,005074} - \frac{0,107}{0,005074 + 0,01747} = -111,1 \text{ МПа}$$

Визначаємо напруження в трубах за формулою (4.22):

$$\sigma_{\max}^m = \frac{P_t}{F_m} \pm \frac{P \cdot E_m}{E_{\kappa} \cdot F_{\kappa} + E_m \cdot F_m} = -\frac{0,54}{0,01747} - \frac{0,107}{0,005074 + 0,01747} =$$

$$= -35,6 \text{ МПа}.$$

Відповідь. Напруження в корпусі кожухотрубчастого теплообмінника з нерухомими трубними решітками становить $\sigma_{\max}^{\kappa} = -111,1 \text{ МПа}$, а напруження в трубках $\sigma_{\max}^m = -35,6 \text{ МПа}$.

Задача 4.7. Під час запуску товстостінного апарата в роботу сталося його руйнування. Дати обґрунтований розрахунками висновок про можливу причину його руйнування. Зовнішній діаметр апарата $D_z = 2,1$ м, внутрішній $D_b = 1,3$ м. В момент пошкодження корпусу апарата зареєстровані такі значення температур: внутрішньої поверхні $t_b = 580$ °С, зовнішньої $t_z = 500$ °С. Прийняти для матеріалу апарата $[\sigma] = 75$ МПа, $\alpha = 14 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹, $E = 2,2 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu = 0,32$.

Розв'язок

Визначається $\beta = \frac{D_n}{D_g} = \frac{2,1}{1,3} = 1,615$.

Оскільки, $\beta > 1,5$, то температурні напруження в стінках апарата розраховуються за формулами (4.27) і (4.28):

$$\sigma_t^{\beta} = \frac{\alpha \cdot E \cdot (t_n - t_g)}{2 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left(\frac{2 \cdot \beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln \beta} \right) =$$

$$= \frac{14 \cdot 10^{-6} \cdot 2,2 \cdot 10^{11} (500 - 580)}{2 \cdot (1 - 0,32)} \cdot \left(\frac{2 \cdot 1,615^2}{1,615^2 - 1} - \frac{1}{\ln 1,615} \right) =$$

$$= -2,096 \cdot 10^8 \text{ Па} \text{ або } -209,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_t^3 = \frac{\alpha \cdot E \cdot (t_n - t_e)}{2 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left(\frac{2 \cdot \beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln \beta} \right) =$$

$$= \frac{14 \cdot 10^{-5} \cdot 2,2 \cdot 10^{11} (500 - 580)}{2 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left(\frac{2}{1,615^2 - 1} - \frac{1}{\ln 1,615} \right) =$$

$$= -1,385 \cdot 10^8 \text{ Па або } -138,5 \text{ МПа},$$

де: $\alpha = 14 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, $\mu = 0,32$, $t_b = 580 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_3 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ – за умовою.

Відповідь. Таким чином напруження в стінках значно перевищують допустимі напруження: $(|\sigma_t^e| = 209,6 \text{ МПа}) > ([\sigma] = 75 \text{ МПа})$, руйнування товстостінного апарата відбулося через порушення режиму запуску його в роботу.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

4.1. При експлуатації трубопроводу протягом τ років відбулося поступове зменшення тиску продукту на виході, що призвело до зменшення його витрати. Було прийнято рішення про підвищення тиску на вході в трубопровід на величину падіння тиску ΔP . Дати висновок про небезпеку пошкодження трубопроводу при реалізації прийнятого рішення. Довжина трубопроводу 1,5 км. Він має шість плавних поворотів ($R/r=2,5$) з кутом 90° і дві повністю відкриті засувки. При експлуатації трубопроводу відбувається зменшення його перерізу через утворення відкладень. Початковий тиск на вході в трубопровід 2,4 МПа. Вид продукту, його температура t_p , витрата на початку експлуатації Q , внутрішній діаметр трубопроводу (без відкладень) d_1 , товщина стінок труби (за проектом) s , тривалість експлуатації трубопроводу τ та ступінь зменшення прохідного перерізу трубопроводу при утворенні відкладень ε наведені в табл. 4.1. Швидкість корозії матеріалу труб (сталі 09Г2С) прийняти 0,02 мм/рік. Коефіцієнт зварного шва $\phi = 0,85$.

Таблиця 4.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	бензол		метанол		пропанол		етанол		ацетон	
$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	10	20	20	15	20	30	15	20	20	25
$Q_1, \text{ м}^3/\text{с}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2
$d_1, \text{ м}$	0,08	0,1	0,15	0,2	0,12	0,14	0,22	0,15	0,18	0,21
ε	0,1	0,2	0,15	0,25	0,1	0,15	0,2	0,25	0,1	0,2
$s, \text{ мм}$	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3
$\tau, \text{ років}$	10	12	15	20	8	16	18	9	11	14

4.2. Горизонтальний циліндричний апарат, який використовувався в якості ресивера стиснутого повітря, в процесі реконструкції виробництва був

пристосований для зберігання скрапленого газу. Апарат розташований на відкритому майданчику, виготовлений з сталі 20. Внутрішній діаметр апарата 2,6 м, фактична товщина стінок 6 мм, коефіцієнт зварного шва $\phi=0,8$. Робочий тиск стиснутого повітря в ресивері становив 0,5 МПа. В процесі експлуатації з'ясувалось, що він не може бути повністю заповнений скрапленим газом і герметично від'єднаний від сусідніх апаратів. Визначити: приріст тиску стиснутого повітря в ресивері до його реконструкції при зміні температури довкілля; приріст тиску в апараті, який повністю заповнений скрапленим газом; допустимий ступінь заповнення апарата скрапленим газом; товщину стінок апарата, який повністю заповнений скрапленим газом, герметично від'єднаний від сусідніх апаратів, і може витримати тиск, що виникає при зміні температури довкілля. Робочий тиск скрапленого газу $P_{п}=1,0$ МПа. Прийняти коефіцієнт стисненості повітря $z=0,87$.

Вид скрапленого газу, початкова $t_{п}$ і кінцева $t_{к}$ температури продукту в апараті та довкілля наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Скраплений газ	сірко-водень	хлор	аміак	сірко-водень	хлор	аміак	хлор	сірко-водень	аміак	хлор
$t_{п}, ^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20
$t_{к}, ^\circ\text{C}$	20	25	30	40	45	15	25	30	30	40

4.3. В нижню частину ректифікаційної колони, яка працює під розрідженням, подається водяна пара для зменшення температури кипіння продукту. На ділянці паропроводу довжиною l від дренажної системи до колони може збиратися водний конденсат (особливо при пуску колони в роботу). Оцінити небезпеку руйнування ректифікаційної колони при закипанні водного конденсату, який потрапив з паропроводу. Величина розрідження в колоні $P_{в}$, робоча температура $t_{р}$, внутрішній діаметр D і висота колони H , ступінь заповнення її продуктом ε , а також внутрішній діаметр паропроводу d і відстань до дренажної засувки l наведені в табл. 4.3. Матеріал стінок колони – сталь 20, товщина стінок колони (за проектом) $s=6$ мм, спрацювання від корозії досягає 0,8 мм.

Таблиця 4.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{в}, \text{МПа}$	0,02	0,05	0,03	0,01	0,04	0,02	0,05	0,01	0,03	0,04
$t_{р}, ^\circ\text{C}$	430	420	410	400	390	430	420	410	400	390
$D, \text{м}$	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	1,4	1,5
$H, \text{м}$	21	20	18	22	20	17	18	15	20	22
ε	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4
$d, \text{мм}$	80	90	110	100	90	80	120	100	80	110

l, м	40	60	50	30	40	50	60	50	30	20
------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

4.4. Визначити допустиме зменшення швидкості руху продукту в магістральному продуктопроводі, щоб при аварійному перекритті засувки не відбулося його руйнування через виникнення гідроудару. Робочий тиск продукту в трубопроводі P_p , продуктивність насоса Q , зовнішній діаметр труби D_3 і товщина стінки s (за проектом) приведені в табл. 4.4. Матеріал трубопроводу – сталь 16ГС, термін експлуатації 12 років, фактична швидкість корозії 0,2 мм/год. Коефіцієнт зварного шва $\varphi = 0,9$.

Таблиця 4.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_p , МПа	4,5	3,5	4,0	3,0	5,0	5,5	3,5	4,0	6,0	5,0
$Q \times 10^{-3}$, м ³ /год	4	5	5,5	6	6,5	7	4	5	6	7
D_3 , м	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
s , мм	3	4	5	5	6	6	5	4	4	3

4.5. Виявити можливість пошкодження основних елементів кожухотрубчастого теплообмінника «жорсткої» конструкції (корпусу, труб), якщо в результаті порушення технологічного регламенту підвищилась температура корпусу і труб теплообмінника до значень t_k і t_t . Довжина труб $l_T = 7$ м, зовнішній діаметр труб $d_3 = 0,038$ м, тиск в трубному просторі $P_T = 1,6$ МПа, в міжтрубному просторі $P_M = 0,8$ МПа. Трубна решітка виготовлена з сталі 16ГС, корпус і труби виготовлені з сталі 20К. Фактичне корозійне зношення всіх вузлів і деталей становить $s = 0,6$ мм. Товщина стінки корпусу (за проектом) $s_k = 5$ мм. Дані про товщину труб (за проектом) s_T , внутрішній діаметр корпусу D_k , температуру корпусу t_k і труб t_t , фактичних напруженнях в трубній решітці σ_p приведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
s_{Tp} , мм	2,0	2,5	3,0	1,5	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0
D_k , м	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0
t_k , °C	130	140	150	160	170	130	140	150	160	170
t_t , °C	60	80	70	90	100	90	80	70	60	100
z , шт.	121	211	121	121	211	211	361	121	211	361
σ_p , МПа	175	168	170	180	185	150	155	140	220	107

4.6. Підготувати висновок про можливість пошкодження корпусу кожухотрубчастого холодильника з нерухомими трубними решітками під час пожежі на установці. Матеріал стінок кожуха і труб холодильника – сталь ВСт3-2, довжина труб $l_T = 4,5$ м, зовнішній діаметр труб $d_3 = 0,025$ м, тиск в трубному просторі $P_T = 1,8$ МПа, в міжтрубному просторі $P_M = 1,0$ МПа,

фактична товщина стінок корпусу $s_k=5\text{мм}$. Фактична товщина стінок труб $s_T=5\text{мм}$, їх кількість z , внутрішній діаметр корпусу D_k , температура корпусу, який нагрівається факелом пожежі, t_k і труб t_T , наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
s_T , мм	2,0	2,5	3,0	3,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,0	2,0
D_k , м	0,4	0,6	0,8	1,0	0,4	0,6	0,8	0,6	0,4	0,6
t_k , °C	150	160	170	180	190	200	160	170	180	9
t_T , °C	40	50	50	50	60	60	40	40	50	60
z , шт.	121	283	511	823	121	283	511	283	121	283

4.7. Підготувати висновок про можливість руйнування корпусу товстостінного сталевго апарата (колони синтезу аміаку), нагріта зовнішня поверхня стінок якого при гасінні пожежі на установці зрошується компактними струменями води. Матеріал стінок апарата – сталь 16ГС. Зовнішній діаметр апарата – D_3 , внутрішній діаметр апарата – D_B , температура внутрішньої поверхні стінок апарата – t_B , температура зовнішньої поверхні стінок апарата (в місцях зрошення водою) – t_3 приведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_3 , м	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
D_B , м	0,6	0,7	1,0	1,0	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,8
t_3 , °C	140	130	160	190	150	170	180	130	140	160
t_B , °C	350	370	390	400	420	350	360	380	390	410

1. 5. ВИРОБНИЧІ ДЖЕРЕЛА ЗАПАЛЮВАННЯ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

В умовах виробництва джерелами запалювання можуть бути різноманітні об'єкти, які відрізняються як природою, так і параметрами.

1. Нагріті тіла, як джерела примусового запалювання горючих сумішей, характеризуються температурою, кількістю тепла (енергією) і тривалістю дії. Тривалість дії виробничих джерел запалювання звичайно значно перевищує відповідний показник (період індукції) горючої суміші. Тому в даному випадку безпека утворення джерела запалювання в горючій суміші має місце при виконанні такої умови:

$$(t_{н.т.} > t_{сз}) \cap (W_{н.т.} > W_{min}), \quad (5.1)$$

де: $t_{н.т.}$, $W_{н.т.}$ – відповідно температура [°C] й енергія (кількість тепла) нагрітого тіла [Дж], яке може стати джерелом запалювання; $t_{сз}$ – температура самозаймання горючої речовини, [°C]; W_{min} – мінімальна енергія запалювання горючої суміші, [Дж].

2. Запобігти утворенню в горючій суміші (або ж внесенню в неї) джерела запалювання можна при виконанні таких умов вибухопожежобезпеки:

$$t_{н.т.без} < 0,8 \cdot t_{сз}, \quad (5.2)$$

або

$$W_{н.т.без} < 0,4 \cdot W_{min}, \quad (5.3)$$

де: $t_{н.т.без}$ – безпечна температура нагрітого тіла, [°C]; $W_{н.т.,без.}$ – безпечне значення енергії (кількості тепла) нагрітого тіла, [Дж].

3. Підшипники перевантажених та швидкісних валів при різноманітних порушеннях роботи (відсутність охолодження та змащення, забруднення поверхонь перевантаження та ін.) перегріваються до небезпечних температур (вище температури самозапалювання горючої суміші, яка контактує з підшипником, або температури самозаймання горючого пилю, який осів на його корпусі).

Максимальну температуру підшипника ковзання при відсутності змащування та примусового охолодження визначають за формулою:

$$t_n = t_c + \frac{Q_{TP}}{\alpha \cdot F}, \quad (5.4)$$

де: t_n – максимальна температура підшипника, [°C]; t_c – температура навколишнього середовища (повітря), [°C]; Q_{TP} – потужність сил тертя в підшипнику, [Вт].

Величину потужності сил тертя визначають за формулою:

$$Q_{TP} = \pi \cdot f \cdot N \cdot d \cdot n, \quad (5.5)$$

де: f – коефіцієнт тертя, що визначається залежно від матеріалу; значення коефіцієнта тертя ковзання наведені в таблиці 14 додатків; N – радіальна сила, яка діє на підшипник, [Н]; F – поверхня корпусу підшипника, яка омивається повітрям, [м²]; d – діаметр шийки вала, [м]; n – частота обертання вала, [с⁻¹]; α – коефіцієнт теплообміну між поверхнею підшипника і навколишнім середовищем, [Вт/м²·К], який визначають за формулами:

$$\text{при } t_n > 60^\circ\text{C} \quad \alpha = 11,63 \cdot \exp(0,0023 \cdot t_n); \quad (5.6)$$

$$\text{при } t_n < 60^\circ\text{C} \quad \alpha = 4,07 \cdot \sqrt[3]{t_n - t_e}; \quad (5.7)$$

За формулами (5.4) і (5.5) можна оцінити також температуру нагрівання стрічки при її буксуванні і ведучого барабана транспортера. В цьому випадку: N – сила натягу стрічки, [Н]; d – діаметр барабана, [м²], F – поверхня барабана, [м²].

4. Процес стиснення газу в компресорі супроводжується виділенням тепла і підвищенням температури газу в газовідвідних вузлах компресора. Максимальну температуру газу при стисненні в компресорі і відсутності охолодження визначають за формулою:

$$t_K = (t_{II} + 273) \cdot \left(\frac{P_K}{P_{II}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 273, \quad (5.8)$$

де: t_K і t_n – відповідно кінцева та початкова температури газу, [°С]; P_K і P_n – відповідно кінцевий та початковий тиск газу в компресорі, [Па]; n – показник політропи; $n \approx 0,9 \cdot k$ (де k – показник адіабати – табл.5 додатків).

Виходячи з умов безпечного режиму експлуатації компресора, ступінь стиснення газу і число ступенів стиснення визначають за формулами:

$$\varepsilon \leq \left(\frac{t_{p.без} + 273}{t_n + 273} \right)^{\frac{n-1}{n}}; \quad (5.9)$$

$$x \geq \frac{\lg P_K - \lg P_{II}}{\lg \varepsilon}; \quad (5.10)$$

де: ε – допустимий ступінь стиску газу в компресорі; $t_{p.без}$ – безпечна температура газу в концентрації стиску, [°С]; за $t_{p.без}$ приймають мінімальне значення 2-х величин: температури, знайденої з виразу (5.2) за температурою самозаймання газу, який стискується, або допустимої температури мастила в картері компресора; x – число ступенів стиску компресора.

5. Умови процесу теплового самозагоряння деяких горючих речовин і матеріалів (рослинних масел, тваринних жирів, кам'яного та деревного

вугілля, торфу, сажі, оліфи, сіна, силосу, цинкового, магнієвого пилу тощо) визначають із таких емпіричних виразів:

$$\begin{cases} \lg t_c = A_p + n_p \cdot \lg S \\ \lg \tau_c = \frac{1}{n_g} \cdot (A_g - \lg t_c) \end{cases} \quad (5.11)$$

де: t_c – мінімальна температура середовища, при якій спостерігається самозагоряння речовини, [°C]; A_p, n_p, A_g, n_g – емпіричні константи, значення яких визначаються за довідником (приведені в табл. 15 додатків);

S – питома поверхня матеріалу, [м⁻¹]; величину S визначають за формулою:

$$S = F / V \quad (5.12)$$

де: F – повна зовнішня поверхня матеріалу, яка контактує з навколишнім середовищем, [м²]; V – об'єм матеріалу, [м³]; τ_c – тривалість процесу самонагрівання матеріалу до його самозагоряння, [год].

6. Пожежобезпечність виробництв, в яких обертаються схильні до теплового самозаймання речовини, досягається при виконанні такої умови:

$$t_{p.без} < 0,8 \cdot t_i, \quad (5.13)$$

де: $t_{p.без}$ – безпечна температура середовища (виробничого процесу), [°C]; t_i – температура тління або займання горючої речовини, [°C].

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 5.1. Через приміщення, в якому знаходиться сірковуглець, прокладено теплоізолюваний паропровід системи опалення. Показати небезпеку виникнення джерела запалювання при пошкодженні теплоізоляції на ділянці паропроводу, якщо тиск нагрітої пари в ньому становить 0,2 МПа.

Розв'язок

Нагріте тіло (незахищена ділянка паропроводу) є постійно діючим тепловим джерелом, а за кількістю тепла, що виділяється, значно перевищує мінімальну енергію запалювання сірковуглецю ($W_{\min} = 0,009$ мДж, див. табл. 1 додатків). Тому пожежну небезпеку даного нагрітого тіла (високонагрітої ділянки трубопроводу) достатньо охарактеризувати його температурою (див. співвідношення (5.1.)).

Оскільки в системах опалення використовується насичена водяна пара, то її температура визначається за її тиском (табл.9 додатків): $t_{н.т.} = 120^\circ\text{C}$.

З таблиці 1 додатків знаходимо температуру самозаймання парів сірковуглецю: $t_{сз} = 102^\circ\text{C}$.

Так як $(t_{н.т.} = 120^\circ\text{C}) > (t_{сз} = 102^\circ\text{C})$, тобто умова (5.1) виконується.

Відповідь. Таким чином, на виробництві є небезпека виникнення джерела запалювання у вигляді дільниці паропроводу з пошкодженою теплоізоляцією.

Задача 5.2. Оцінити можливість займання горючої пароповітряної суміші у виробничому приміщенні від перегрітого корпусу підшипника центрифуги (підшипник працює у режимі „сухого” тертя через порушення режиму змащування). Діаметр вала 40 мм; коефіцієнт теплообміну між поверхнею підшипника та середовищем 200 Вт/(м²К); температура навколишнього середовища 20°C; коефіцієнт тертя 0,15; радіальна сила, що діє на підшипник 3000 Н; частота обертання вала 5500 об/хв; поверхня корпусу підшипника 0,06 м²; горюча речовина – етилацетат.

Розв’язок. Визначаємо потужність сил тертя в підшипника за формулою (5.5):

$$Q_{TP} = \pi \cdot f \cdot N \cdot d \cdot n = \frac{3,14 \cdot 0,15 \cdot 3000 \cdot 0,04 \cdot 5500}{60} = 5183,6 \text{ Вт},$$

де: $f=0,15$; $N=3000$ Н; $d=40$ мм= $0,04$ м; $n=5500$ об/хв – за умовою.

Визначаємо максимальну температуру підшипника ковзання при відсутності змащування та примусового охолодження за формулою:

$$t_n = t_c + \frac{Q_{TP}}{\alpha \cdot F} = 20 + \frac{5183,6}{200 \cdot 0,06} = 452 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де: $t_c=20^\circ\text{C}$; $\alpha=5500$ об/хв; $F=0,06$ м² – за умовою.

Відповідь. Через те, що температура підшипника перевищує температуру самозаймання етилацетату ($t=452^\circ\text{C} < t_{c3}=400^\circ\text{C}$), займання горючої суміші етилацетату з повітрям в приміщенні не відбувається.

Задача 5.3. В процесі експлуатації високонавантаженого механізму зупинилась подача мастила в підшипники ковзання валів. Визначити, у скільки разів зросте виділення тепла в підшипниках вала при порушенні режиму змащування порівняно з нормальним режимом експлуатації. Матеріал тіл, що труться: сталь – сталь.

Розв’язок. Для відповіді на запитання задачі необхідно використати формулу (5.5). Визначаємо потужність сил тертя в підшипниках при нормальному режимі експлуатації механізму:

$$Q_{TP1} = \pi \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot d_1 \cdot n_1$$

і при припиненні подачі мастила:

$$Q_{TP2} = \pi \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot d_2 \cdot n_2.$$

Розділивши другий вираз на перший, скоротяться однойменні величини через те, що $N_1 = N_2$, $d_1 = d_2$, $n_1 = n_2$, і отримаємо:

$$\frac{Q_{Tp2}}{Q_{Tp1}} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{0,15}{0,05 \div 0,1} = 1,5 \div 3,0,$$

де: f_1 – коефіцієнт тертя ковзання з мастилом тіл, які труться: сталь – сталь (див табл. в п. 3); f_2 – коефіцієнт тертя сухого ковзання тіл, які труться: сталь – сталь (див табл. в п. 3).

Відповідь. Виділення тепла в підшипниках вала при порушенні режиму змащування у порівнянні з нормальним режимом експлуатації зросте у 1,5 – 3,0 рази.

Задача 5.4. У виробничому приміщенні з температурою повітря 20°C працює високонавантажений механізм, в якому радіальна сила на кожен підшипник досягає 4800 Н. Поверхня теплообміну підшипника 0,15 м². Визначити наскільки зросте максимальна температура підшипників при підвищенні навантаження на них. Діаметр шийки вала 0,08 м, частота його обертання 0,5 1/с. Матеріал тіл, які труться: сталь – бронза.

Розв'язок

Оцінюємо величину коефіцієнта теплообміну за формулою (5.7), прийнявши орієнтовано $t_n=40^\circ\text{C}$.

$$\alpha = 4,07 \cdot \sqrt[3]{t_n - t_c} = 4,07 \cdot \sqrt[3]{40 - 20} = 11,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Визначимо максимальну температуру підшипника при нормальному навантаженні за формулами (5.4) і (5.5):

$$\begin{aligned} t_n^* &= t_c + \frac{Q_{TP}}{\alpha \cdot F} = t_c + \frac{\pi \cdot f \cdot N \cdot d \cdot n}{\alpha \cdot F} = \\ &= 20 + \frac{3,14 \cdot 0,1 \cdot 4800 \cdot 0,08 \cdot 0,5}{11,05 \cdot 0,15} = 56,4 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

де: $f = 0,1$ – коефіцієнт тертя сталі об бронзу при наявності мастила (див. табл. 14).

Оскільки отримане значення t_n^* суттєво (більше ніж на 5%) відрізняється від прийнятого $t_n=40^\circ\text{C}$, то уточнюємо значення коефіцієнта α , прийнявши $t_n^{**} = (40 + 56,4) / 2 = 48,2 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\alpha^* = 4,07 \cdot \sqrt[3]{48,2 - 20} = 12,39 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Максимальна температура підшипника:

$$t_n^{**} = 20 + \frac{3,14 \cdot 0,1 \cdot 4800 \cdot 0,08 \cdot 0,5}{12,39 \cdot 0,15} = 52,4 \text{ }^\circ\text{C},$$

і в даному випадку похибка $\delta = 100 \cdot (52,4 - 48,2) / 48,2 = 8,7 \%$ також перевищує 5 %.

Продовживши розрахунки, знаходимо $t_n^{***} = 51,6 \text{ } ^\circ\text{C}$. В даному випадку похибка $\delta = 100 \cdot (52,4 - 51,6) / 51,6 = 1,6 \%$, що не перевищує допустиму для технічних розрахунків похибку обчислень – 5 %.

Отже, максимальна температура підшипників механізму при нормальному навантаженні досягає $51,6 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Аналогічно визначається максимальна температура підшипників при підвищеному у два рази навантаженні, яка становитиме $77,8 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Відповідь. Таким чином максимальна температура підшипників даного механізму при підвищенні навантаження на них зросте на $\Delta t = 77,8 - 51,6 = 26,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Задача 5.5. В картер повітряного одноступінчастого компресора було залито масло індустріальне 20. Кінцевий тиск стиснення в компресорі становить 0,55 МПа, а початкова температура повітря $35 \text{ } ^\circ\text{C}$. Оцінити вибухопожежну небезпеку процесу стиснення повітря у випадку порушення режиму охолодження компресора.

Розв'язок

За довідником визначаємо температуру спалаху масла індустріального 20: $t_{\text{сп}} = 158 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Визначаємо показник політропи процесу стиснення повітря:

$$n = 0,9 \cdot k = 0,9 \cdot 1,4 = 1,26,$$

де $k = 1,4$ – показник адіабати для повітря (табл.5 додатків)

Знаходимо максимальну температуру процесу стиснення повітря в компресорі за формулою (5.8):

$$\begin{aligned} t_K &= (t_{\text{п}} + 273) \cdot \left(\frac{P_K}{P_{\text{п}}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 273 = \\ &= (273 + 35) \cdot \left(\frac{0,55}{0,1} \right)^{\frac{1,26-1}{1,26}} - 273 = 164,8 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

де: 0,1 МПа – початковий (атмосферний) тиск повітря.

Відповідь. Таким чином, при нагріванні компресора до температури $164,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ в пароповітряному просторі картера, що заповнений маслом індустріальним 20, утворюється вибухонебезпечна концентрація, оскільки $(t_K = 164,8 \text{ } ^\circ\text{C}) > (t_{\text{сп}} = 158 \text{ } ^\circ\text{C})$.

Задача 5.6. Компресор повинен стискати горючу водневоповітряну суміш з початковим тиском $P_{\text{п}} = 0,09$ МПа до тиску $P_{\text{к}} = 30$ МПа. Концентрація водню в суміші становить 5 % об. Початкова температура суміші $15 \text{ } ^\circ\text{C}$. Робоча температура $130 \text{ } ^\circ\text{C}$. Проаналізувати вибухопожежну небезпеку процесу стиснення газу в даному компресорі при одноступінчастому

стисненні. Визначити число ступенів стиснення в компресорі і безпечний ступінь стиснення з урахуванням того, що допустима температура не повинна перевищити робочу температуру.

Розв'язок

Оскільки у водневоповітряній суміші знаходиться незначна кількість водню, показник адіабати, який рівний 1,4, знаходимо за табл.4 додатків.

Визначаємо показник політропи:

$$n = 0,9 \cdot k = 0,9 \cdot 1,4 = 1,26.$$

Знаходимо температуру процесу стиснення повітря в компресорі за формулою (5.8):

$$T_K = T_{II} \cdot \left(\frac{P_K}{P_{II}} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 288 \cdot \left(\frac{30}{0,09} \right)^{\frac{1,26-1}{1,26}} = 955 \text{ K } (682^\circ \text{C}),$$

де: $T_{II} = 15 + 273 = 288 \text{ K}$; $P_K = 30 \text{ МПа}$; $P_{II} = 0,09 \text{ МПа}$ – за умовою.

Оскільки температура самозаймання водневоповітряної суміші менша за очікувану температуру (після завершення процесу стиснення), то відбудеться її займання $t_K = 682^\circ \text{C} > t_c = 510^\circ \text{C}$. Отже, одноступінчасте стиснення провести не можна.

Визначаємо допустимий ступінь стиснення газу за формулою:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{t_K + 273}{t_n + 273} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{403}{288} \right)^{\frac{1,26-1}{1,26}} = 5,09,$$

де: $T_p = 130 + 273 = 403 \text{ K}$ – за умовою; P_1 – кінцевий тиск в ступені стиснення, МПа.

Число ступенів стиснення водневоповітряної суміші визначаємо за формулами:

$$x = \frac{\lg P_K - \lg P_{II}}{\lg \frac{P_K}{P_1}} = \frac{\lg 30 - \lg 0,09}{\lg 5,09} = 3,57 \approx 4.$$

Відповідь. Таким чином при стисненні водневоповітряної суміші в чотириступінчастому компресорі та міжступінчастому охолодженні в теплообмінниках (до початкової температури) небезпечного підвищення температури не відбудеться.

Задача 5.7. В технологічному процесі сипкий матеріал – полінак (порошок смоли поліакрилінтрилу), який схильний до теплового самозагоряння, збирається в бункері-нагромаджувачі і утворює на його плоскому дні купу конічної форми. Днище апарата має теплоізоляцію. Знайти питому поверхню матеріалу, необхідну для визначення умов

теплого самозагоряння, якщо відомо, що діаметр основи купи дорівнює 4 м, а її висота – 1,4 м.

Розв'язок

У зв'язку з тим, що насипна площа купи прилягає до теплоізованого дна бункера-нагромаджувача і не бере участі в теплообміні з навколишнім середовищем, в теплообміні буде брати участь тільки її бокова поверхня, площа якої визначається за формулами:

$$F = \pi \cdot r \cdot \sqrt{h^2 + r^2} = 3,14 \cdot 2 \cdot \sqrt{1,4^2 + 2^2} = 15,34 \text{ м}^2,$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 2^2 \cdot 1,4 = 5,86 \text{ м}^3,$$

де: $r=2$ м – радіус основи конуса, $h=1,2$ м – висота конуса.

За формулою (5.12) знаходимо питому поверхню матеріалу:

$$S = F / V = 15,34 / 5,86 = 2,62 \text{ м}^{-1}.$$

Відповідь. Питомі поверхня матеріалу $S = 2,62 \text{ м}^{-1}$.

Задача 5.8. В технологічному процесі сипкий матеріал – полінак (порошок смоли поліакрилонітрилу), який схильний до теплого самозагоряння, з допомогою шнекового живильника подається в бункер-нагромаджувач готової продукції. Визначити показники пожежної небезпеки матеріалу і безпечні умови його зберігання при умові, що об'єм максимально можливої кількості даного матеріалу (в бункері) має конічну форму. Висота максимального об'єму порошку в бункері $h=1,2$ м, радіус основи $r=1,7$ м. Днище апарата плоске і має теплоізоляцію. Бокова (конічна) поверхня матеріалу оточена повітрям. Робоча температура матеріалу 60°C , тривалість зберігання 10 діб.

Розв'язок

Запишемо умови теплого самозагоряння порошку полінаку:

$$\lg t_c = A_p + n_p \cdot \lg S = 1,956 + 0,113 \cdot \lg S;$$

$$\lg t_c = A_b + n_b \cdot \lg \tau = 2,230 + 0,10 \cdot \lg \tau$$

де: $A_p=1,956$; $n_p=0,113$; $A_b=2,230$, $n_b=0,1$ (табл.9 додатків).

Визначаємо бокову поверхню і об'єм порошку в бункері за формулами:

$$F = \pi \cdot r \cdot \sqrt{h^2 + r^2} = 3,14 \cdot 1,7 \cdot \sqrt{1,2^2 + 1,7^2} = 11,11 \text{ м}^2,$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 1,7^2 \cdot 1,2 = 3,63 \text{ м}^3,$$

де $r=1,7$ м – радіус основи конуса, $h=1,2$ м – висота конуса.

За формулою (5.12) знаходимо питому поверхню матеріалу:

$$S = F / V = 11,11 / 3,63 = 3,06 \text{ м}^{-1}.$$

Визначимо мінімальну температуру навколишнього середовища, при якій здійснюється теплове самозаймання даного порошку:

$$\lg t_c = 1,956 + 0,113 \lg 3,06 = 2,011$$

$$t_c = 10^{2,011} = 102,5^\circ\text{C}$$

Визначимо тривалість процесу саморозігрівання матеріалу в бункері до його самозагоряння:

$$\lg t_c = A_b + n_b \cdot \lg \tau = 2,230 + 0,10 \cdot \lg \tau ;$$

$$2,011 = 2,230 + 0,10 \cdot \lg \tau$$

$$\lg \tau_c = \frac{1}{0,1} \cdot (2,230 - \lg t_c) ; \quad \lg \tau_c = \frac{1}{0,1} \cdot (2,230 - 2,011) = 2,19$$

$\tau_c = 10^{2,19} = 154,9 \text{ год} \approx 6,5 \text{ діб}$, що значно менше за тривалість зберігання матеріалу в бункері $\tau_c = 6,5 \text{ діб} < \tau = 10 \text{ діб}$

Знаходимо безпечну температуру середовища в апараті, в якому знаходяться матеріали, схильні до теплового самозаймання:

$$t_{p,без} \leq 0,8 \cdot t_c = 0,8 \cdot 102,5 = 82^\circ \text{C} .$$

Визначаємо за формулою (5.7) температуру самонагрівання порошку полінаку:

$$\lg t_c = A_p = 1,956 ; \quad t_c = 90,4^\circ \text{C}$$

Знайдемо безпечну температуру матеріалу, що надходить в бункер-нагромаджувач. Ця температура не повинна перевищувати 90% температури самонагрівання:

$$t_{c,без} \leq 0,9 \cdot t_c = 0,9 \cdot 90,4 = 81,4^\circ \text{C}$$

Висновок. Отже, порошок полінаку в бункері-нагромаджувачі не самозайметься, тому що виконуються безпечні умови його зберігання ($t_p = 60^\circ \text{C} < t_{c,без} = 81,4^\circ \text{C}$).

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

5.1. Показати можливість виникнення у виробничому приміщенні джерела запалювання у вигляді перегрітого корпусу підшипника центрифуги (підшипник працює у режимі „сухого” тертя через порушення режиму змащування). Температура повітря в приміщенні 25°C . Діаметр шийки вала 40 мм. Вид горючого матеріалу та інші дані для розрахунку наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча речовина	аміак	ацетон	бензол	н-гексан	метанол	н-октан	метил-етилкетон	толуол	етан	бензол
Частота обертання, с^{-1}	10	15	20	25	5	8	12	14	2	3
Радіальна сила, кН.	3	2,5	2	1,5	4	3	2,5	1	5	4
Поверхня	0,08	0,1	0,15	0,15	0,05	0,06	0,12	0,14	0,05	0,07

тепло-обміну, м ²										
Матеріал тїл, що труться	сталь – сталь	сталь – чавун	сталь – бронза	чавун – бронза	бронза – бронза					

Примітка. Аналіз небезпеки виникнення джерела запалювання в приміщенні проводити з врахуванням утворення в ньому вибухонебезпечних концентрацій горючої речовини.

5.2. Під час роботи стрічкового транспортера у виробничому приміщенні в результаті його перевантаження відбулося пробуксовування прогумовованої стрічки на чавунному ведучому барабані. Показати можливість появи джерела запалювання у приміщенні в результаті порушення режиму експлуатації транспортера. Вид горючої речовини в приміщенні прийняти з табл. 5.2. Інші дані для розрахунку наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота обертання, с ⁻¹	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5
Діаметр барабана, м	0,3	0,25	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3	0,35	0,35	0,2
Ширина барабана і стрічки, м	0,5	0,5	0,4	0,4	0,45	0,45	0,6	0,6	0,55	0,55
Сила натягу стрічки, кН	4,0	5,5	5,0	4,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0

Примітка. При визначенні поверхні барабана, яка омивається повітрям, врахувати таку обставину, що половину його круга охоплює транспортерна стрічка, яка є теплоізоляційним матеріалом.

5.3. Для стиснення метаноповітряної суміші проектом передбачається використання двоступінчастого компресора. Концентрація метану в суміші становить 6 % об. Початкова температура суміші 15°C. Проаналізувати вибухопожежну небезпеку процесу стиснення газу в даному компресорі з точки зору можливості появи джерела запалювання і за необхідності запропонувати, обґрунтувавши розрахунками, пожежовибухобезпечний варіант проведення процесу стиснення даної метаноповітряної суміші. В табл. 5.4. наведені температура спалаху індустриального масла, що використовується для змащування компресора, інші дані для розрахунку.

Таблиця 5.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$t_{\text{сп}}, ^\circ\text{C}$	180		190		210		185		200		
Тиск, МПа	початковий	0,08	0,09	0,1	0,08	0,09	0,1	0,11	0,08	0,11	0,09
	кінцевий	20	26	23	21	24	22	25	22	24	21

5.4. На виробництві готовий продукт та відходи завантажують в крафт-мішки розміром 0,8x0,4x0,3м та відправляють на склад. У складському приміщенні мішки складають у два штабелі, найбільша сторона яких впритул прилягає до стін складу. Максимальний розмір штабеля в плані 8x4 м, висота штабеля 4,2 м. Проаналізувати пожежну небезпеку процесу зберігання готового продукту та за необхідності, виходячи з умов теплового самозагоряння, рекомендувати пожежобезпечний режим його зберігання. Вид продукту, його початкову температуру t_p і тривалість зберігання τ взяти з табл. 5.5.

Таблиця 5.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	борошно кормове	вітамін В2	повість будівельна	гіпсотермін (крихта)	диспергатор НФ	іонообмінна смола	кормо-гризин 10	борошно вітамінне хвойне	тирса соснова	солома пшенична
$t_p, ^\circ\text{C}$	65	50	51	60	45	65	55	58	70	35
τ , доб	100	40	140	42	95	180	22	30	5	6,5

Примітка. Теплопровідність та пожежонебезпечність матеріалу крафтмішків не враховувати.

**Розділ 2. ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ
БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ.
2.1. ЗАХИСТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМУНІКАЦІЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ
АПАРАТІВ ВІД ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ.**

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

1. Виробничі комунікації (технологічні трубопроводи, дихальні труби тощо) захищають від поширення полум'я вогнеперешкоджувачами. На парогазоповітряних комунікаціях встановлюють сухі вогнеперешкоджувачі (сітчасті, касетні, гравійні, металокерамічні), основним розрахунковим параметром яких є критичний діаметр. Виробничими комунікаціями горючими парогазовими сумішами вогонь може поширюватися навіть за наявності вогнезахисних перешкод, параметри яких не відповідають виду горючої суміші, її температурі та тиску. Небезпека розвитку пожежі трубопроводами для транспортування парогазоповітряних сумішей виникає коли дійсна така нерівність:

$$\delta_{кр} \geq \frac{Pe_{кр} \cdot R \cdot (t_p + 273) \cdot \lambda_c}{u_n \cdot C_{p,c} \cdot P_p}, \quad (6.1)$$

де: $\delta_{кр}$ – критичний діаметр каналів сухого вогнеперешкоджувача, [м]; t_p – початкова (робоча) температура горючої суміші, [°C]; P_p – початковий (робочий) тиск горючої суміші, [Па]; R – питома газова стала горючої суміші, [Дж/кг·K]; u_n – нормальна швидкість поширення полум'я, [м/с]; максимальні значення нормальної швидкості поширення полум'я в сумішах різних парів і газів з повітрям, наведені в табл. 1 додатків; λ_c – коефіцієнт теплопровідності горючої суміші, [Вт/(м·K)]. Величину коефіцієнта теплопровідності двокомпонентної парогазоповітряної суміші визначають за формулою:

$$\lambda_c = \varphi_2 \cdot \lambda_2 + (1 - \varphi_2) \cdot \lambda_n, \quad (6.2)$$

де: φ_2 – вміст горючої речовини в суміші (як правило стехіометричного складу), [об.частки]; λ_2, λ_n – коефіцієнти теплопровідності відповідно горючого газу (пари) і повітря, [Вт/(м·K)], (табл. 10 додатків); C_p – питома теплоємність горючої суміші при постійному тиску, [Дж/кг·K]. Питома теплоємність горючої суміші обчислюють за формулою:

$$C_{p,c} = \varphi_2 \cdot C_{p,2} + (1 - \varphi_2) \cdot C_{p,n}, \quad (6.3)$$

де: $C_{p,2}$ – питома теплоємність горючої пари або газу, [Дж/(кг·K)]; значення теплоємності деяких горючих речовин наведені в табл. 10 додатків; $C_{p,n}$ – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·K), (табл. 10 додатків).

Питома газова стала горючої газоповітряної суміші, [Дж/(кг·K)], розраховується за формулою:

$$R = \frac{8314,31}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i} = \frac{8314,31}{\varphi_2 \cdot M_2 + (1 - \varphi_2) \cdot M_n}, \quad (6.4)$$

де: φ_2 – вміст горючої речовини в суміші, [об.частки]; M_2, M_n – молярна маса відповідно горючого газу (пари) і повітря (табл. 1 додатків).

Для забезпечення надійності гасіння полум'я фактичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача d повинен бути менший за критичний:

$$d = \frac{\delta_{кр}}{K_6}, \quad (6.5)$$

де: $\delta_{кр}$ – критичний діаметр каналу вогнеперешкоджувача, [м]; K_6 – коефіцієнт безпеки, приймають $K_6 \geq 2$.

2. При розрахунку насадкових вогнеперешкоджувачів визначають діаметр гранул, гідравлічний опір шару насадки і діаметр перерізу захисного пристрою. Якщо насадка вогнеперешкоджувача складається з гранульованих тіл (гравію, кілець, скляних чи фарфорових кульок) приблизно однакового розміру, діаметра частинок, умовно їх приймають кулеподібними, знаходять із співвідношення:

$$d_{gp} = (3...4) \cdot d, \quad (6.6)$$

де: d_{gp} – діаметр гранул насадки вогнеперешкоджувача, [м].

Втрати напору в шарі сухої насадки гранул вогнеперешкоджувача визначають за формулою:

$$\Delta P = 2 \cdot \lambda \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \omega^2 \cdot \rho_t, \quad (6.7)$$

де: ΔP – опір шару насадки, [Па]; H – висота шару, [Па]; ω – дійсна швидкість парогазоповітряної суміші в шарі насадки, [м/с]

Дійсну швидкість газової суміші знаходять із співвідношення:

$$\omega = \frac{\omega_\phi}{\varepsilon}, \quad (6.8)$$

де: ω_ϕ – фіктивна швидкість, яка дорівнює відношенню максимальної об'ємної витрати газової суміші (через вогнеперешкоджувач) до всієї площі поперечного шару насадки, [м/с]; ε – вільний об'єм насадки; ρ_t – густина парогазоповітряної суміші, [г/м³]; d_e – еквівалентний діаметр вогнегасних каналів, м, який обчислюється за формулою:

$$d_e = \frac{4 \cdot \varepsilon}{S}, \quad (6.9)$$

де: ε – вільний об'єм насадки ε ; S – питома поверхня насадки, [м⁻¹]; вільний об'єм і питома поверхня деяких видів насадок приведені в табл. 19 додатків, λ – коефіцієнт гідравлічного опору шару насадки.

Коефіцієнт гідравлічного опору шару насадки залежить від числа Рейнольдса для газового потоку в пористому шарі:

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot \omega_{\phi} \cdot \rho_t}{\mu \cdot S}, \quad (6.10)$$

де: μ – коефіцієнт динамічної в'язкості газової суміші [Па·с] при температурі T_p ; визначається за формулою:

$$\mu = \frac{M_c}{\sum_1^n \frac{\varphi_i \cdot M_i}{\mu_i}}, \quad (6.11)$$

де: M_c – молярна маса суміші, [кг/кмоль]; μ_i – коефіцієнт динамічної в'язкості i -го компонента при температурі суміші, [Па·с], (табл. 10 додатків).

В'язкість газів залежить від температури. В'язкість компонентів горючої суміші при робочій температурі горючої речовини визначають за формулою:

$$\mu_z = \mu_o \cdot \frac{t_o + C}{t_p + C} \sqrt{\left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273}\right)^3}, \quad (6.12)$$

де: μ_r і μ_o – коефіцієнти динамічної в'язкості газу (пари) відповідно при робочій температурі t_p і при температурі t_o , при якій вони приведені в довідковій літературі, [Па·с]. Значення коефіцієнта динамічної в'язкості і константи C деяких речовин при температурі $t_o=0^\circ\text{C}$ приведені в табл. 10 додатків; μ_n – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря (табл. 10 додатків).

В'язкість двокомпонентної горючої суміші при робочій температурі:

$$\mu = \frac{\varphi_r M_r + (1 - \varphi_r) \cdot M_n}{\varphi_r \cdot M_r \cdot \mu_n + (1 - \varphi_r) \cdot M_n \cdot \mu_r} \cdot \mu_r \cdot \mu_n, \quad (6.13)$$

де: індекс „г” має відношення до горючої речовини; індекс „п” має відношення до повітря; M – молекулярна маса компонента; молекулярна маса повітря $M_n = 28,96$ [кг/кмоль]; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, [Па·с]. При стехіометричній концентрації горючої речовини у початковій горючій суміші менше 5 % об. в'язкість, густину та інші показники горючої суміші можна приймати такими як у повітря.

Для зернистого шару насадки вогнеперешкоджувача величина λ визначається залежно від числа Рейнольдса за такими формулами:

$$\text{при } \text{Re} < 10 \quad \lambda = \frac{38}{\text{Re}} \quad (6.14)$$

$$\text{при } 10 \leq \text{Re} < 250 \quad \lambda = \frac{29}{\text{Re}} + \frac{1,25}{\text{Re}^{0,15}} \quad (6.15)$$

$$\text{при } 250 \leq \text{Re} < 5000 \quad \lambda = \frac{1,56}{\text{Re}^{0,15}} \quad (6.16)$$

Діаметр перерізу вогнеперешкоджувача визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_{\phi}}}, \quad (6.17)$$

де: D – діаметр перерізу вогнеперешкоджувача, заповненого насадкою, [м]; Q – максимальна витрата горючої суміші трубопроводу, що захищається, [м³/с].

Величину ω_ϕ знаходять методом послідовних наближень з виразів (6.7) і (6.8) за умови, що опір шару чистої насадки не повинен перевищувати 100...300 Па, тобто:

$$\omega_\phi = \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{(100...300) \cdot d_e}{2 \cdot \lambda \cdot H \cdot \rho_t}}, \quad (6.18)$$

3. Тривалість аварійного зливу горючих рідин з ємнісного обладнання визначається за формулою:

$$\tau_{зл.} = \tau_{спор.} + \tau_{он.} \leq [\tau]_{зл.}, \quad (6.19)$$

де: $\tau_{зл.}$ – тривалість аварійного зливу, [с]; $\tau_{спор.}$ – тривалість спорожнення апарата, [с]; $\tau_{он.}$ – тривалість операцій для приведення системи в дію, [с]. При проектуванні системи аварійного зливу, як правило приймають: при ручному пуску системи в дії $\tau_{опер.р} = 300$ с і при автоматичному пуску $\tau_{опер.а} = 120$ с. $[\tau]_{зл.}$ – допустима тривалість аварійного режиму, [с]; обґрунтовується розрахунком, виходячи з вогнестійкості будівельних конструкцій та обладнання, тривалості горіння рідин або середнього часу виклику пожежних підрозділів; у більшості випадків приймають $[\tau]_{зл} = 900$ с.

Тривалість спорожнення апарата постійного за висотою перерізу (вертикальний циліндричний апарат, апарат з квадратною або прямокутною опорою і паралельними стінками тощо) визначають за формулою:

$$\tau_{спор} = \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_{np1}} - \sqrt{H_{np2}})}{\varphi_{сист} \cdot f_{вих}}, \quad (6.20)$$

де: F – площа поперечного перерізу апарата, [м²], H_{np1} і H_{np2} – відповідно максимальний і мінімальний рівні в апараті, [м].

При витіканні самопливом $H_{np} = H$ (H – висота стовпа рідини, [м]); при роботі апарата під тиском H_{np} визначається за формулою:

$$H_{пп} = \frac{P_n}{\rho_p \cdot g} + H, \quad (6.21)$$

де: P_n – надлишковий тиск середовища в апараті над поверхнею рідини, [Па], який визначається за формулою: $P_n = P_p - 1 \cdot 10^5$; P_p – абсолютний робочий тиск середовища в апараті, [Па]; ρ_p – густина рідини при робочій температурі, [кг/м³]; $f_{вих}$ – переріз зливного трубопроводу на виході в аварійного апарата, [м²]; $\varphi_{сист}$ – коефіцієнт витрати системи, визначений методом послідовних наближень з виразу:

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{сист}}}, \quad (6.22)$$

де: $\zeta_{\text{сист}}$ – коефіцієнт опору системи, який визначається за формулою:

$$\zeta_{\text{сист}} = \sum_1^n \zeta_i \cdot \left(\frac{d_{\text{вих}}}{d_i} \right)^4 + \sum_1^n \frac{\lambda_i \cdot l_i}{d_i} \zeta_i \cdot \left(\frac{d_{\text{вих}}}{d_i} \right)^4, \quad (6.23)$$

де: ζ_i – коефіцієнт місцевого опору на ділянці, яка розглядається; значення коефіцієнтів місцевих опорів наведені в табл. 16 додатків; $d_{\text{вих}}$ – внутрішній діаметр аварійного трубопроводу на виході, [м]; d_i , l_i – відповідно внутрішній діаметр і довжина ділянки трубопроводу, що розглядається, м; λ_i – коефіцієнт опору тертя, визначається залежно від режиму руху рідини.

Середню швидкість руху рідини по аварійному трубопроводу при зливі визначають за формулою:

$$\omega = 2,22 \cdot \varphi_{\text{сист}} \cdot \left(\sqrt{H_{\text{np1}}} + \sqrt{H_{\text{np2}}} \right) \quad (6.24)$$

4. Діаметр аварійного трубопроводу d_{mp} визначають за формулою:

$$d_{\text{mp}} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_p}{\tau_{\text{спор.м.}} \cdot \varphi_{\text{сист}} \cdot \left(\sqrt{H_{\text{np1}}} + \sqrt{H_{\text{np2}}} \right)}} \quad (6.25)$$

де: V_p – об'єм рідини, яка зливається, [м³].

Величину $\varphi_{\text{сист}}$ орієнтовно визначають за формулою:

$$\varphi_{\text{сист}} \approx \sqrt{\frac{1}{1+3 \cdot \zeta_c}} \quad (6.26)$$

5. Тривалість спорожнення горизонтального циліндричного резервуара (цистерни) визначають за формулою:

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,301 \cdot L_{\text{ц}} \cdot D_{\text{ц}}}{\varphi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вих}} \cdot \sqrt{D_{\text{ц}} + H}}, \quad (6.27)$$

де: $L_{\text{ц}}$, $D_{\text{ц}}$ – відповідно довжина і діаметр цистерни, [м]; H – відстань (по вертикалі) від випускного отвору цистерни до вихідного перерізу аварійного трубопроводу, [м].

Тривалість спорожнення кульового резервуара визначають за формулою:

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,189 \cdot D_{\text{к}}}{\varphi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вих}} \cdot \sqrt{D_{\text{к}} + H}}, \quad (6.28)$$

де: $D_{\text{к}}$ – діаметр кульового резервуара, [м].

Тривалість спорожнення конічного апарату визначають за формулою:

$$\tau_{спор} = \frac{0,0157 \cdot (H_1 - H_2) \cdot (D_1 + D_2)^2}{\varphi_{сист} \cdot f_{вих} \cdot \sqrt{H_1 + H_2}}, \quad (6.29)$$

де: D_1, D_2 – діаметр відповідно верхнього і нижнього перерізів конуса, які розташовані на відстані (по вертикалі) H_1, H_2 від вихідного перерізу аварійного трубопроводу, [м].

6. Тривалість аварійного перекачування горючої рідини з більш небезпечної зони в менш небезпечну (при відомих гідравлічних характеристиках трубопроводу і напору насосів) визначають за формулою:

$$\tau_n = \frac{0,226 \cdot V_p}{\varphi_{сист} \cdot f_{тр} \cdot \sqrt{\frac{P_n}{\rho_t \cdot g_1} + H}}, \quad (6.30)$$

де: V_p – об'єм рідини, яка перекачується, [м³]; $f_{тр}$ – переріз трубопроводу, [м²]; P_n – тиск, який розвивається насосом, [Па]; H – різниця позначок рівнів рідини в апараті, який спорожнюється, і в аварійному апараті, [м]; у випадку перекачування рідини на позначки, які розташовані нижче за позначку апарата, що спорожнюється, приймається знак плюс; якщо позначка вище позначки апарата, що спорожнюється – знак мінус.

7. Тривалість аварійного викиду горючих парів і газів з технологічних апаратів, що працюють під тиском, визначається залежністю:

$$\tau_{вик.} = \tau_{вик.}^{кр} + \tau_{вик.}^{докр} + \tau_{оп.} \leq [\tau]_{зл.}, \quad (6.31)$$

де: $\tau_{вик.}$ – тривалість аварійного викиду, [с]; $\tau_{вик.}^{кр}$ – тривалість викиду газів та парів з критичною швидкістю, [с]; визначається за формулою:

$$\tau_{вик.}^{кр} = \frac{V_v \cdot (P_c - P_{кр})}{P_{бар} \cdot \varphi_{сист} \cdot f_{тр} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1} \cdot R \cdot T_p}}, \quad (6.32)$$

$\tau_{вик.}^{докр}$ – тривалість викиду газів та парів з докритичною швидкістю, [с]; визначається за формулою:

$$\tau_{вик.}^{докр} = \frac{V_v \cdot (P_{кр} - P_c)}{P_{бар} \cdot \varphi_{сист} \cdot f_{тр} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1} \cdot R \cdot T_p \cdot \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_{кр}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}}, \quad (6.33)$$

$\tau_{оп.}$ – тривалість операцій для приведення системи в дію, [с]; ($\tau_{оп.} = 60$ с);

$[\tau]_{вин.}$ – допустима тривалість аварійного режиму, [с]; у більшості

випадків приймають $[\tau]_{\text{вип.}} = 300$ [с]; P_c – тиск середовища, у який викидаються гази чи пари з апарата, [Па] (при викиді в атмосферу $P_c = P_{\text{бар}}$); $P_{\text{кр}}$ – критичний тиск, [Па].

Якщо $P_c > P_{\text{кр}}$, то швидкість витікання парів чи газів з апаратів буде меншою за критичну. У такому випадку в рівнянні (6.31) величина $\tau_{\text{вик.}}^{\text{докр}}$ відсутня.

8. Питома робоча площа мембранного пристрою, тобто площа отвору, який утворюється після руйнування мембрани, віднесена до 1 м³ вільного об'єму апарата, який захищається, визначається за формулою:

$$f = \frac{\Delta V_t}{\tau \cdot \omega}, \quad (6.34)$$

де: f – питома площа мембрани, [м²/м³]; ΔV_t – надлишкова кількість продуктів горіння (вибуху), яку необхідно вилучити з 1 м³ вільного об'єму апарата, [м³/м³]; величину ΔV_t визначають за формулами:

$$\Delta V_t = \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{руйн}}}{P_c}, \quad (6.35)$$

або

$$\Delta V_t = \Delta V_{t,2} - \frac{P_{\text{руйн}}}{P_c}, \quad (6.36)$$

де: $P_{\text{макс}}$ – максимальний тиск вибуху горючого середовища в апараті, [Па]; значення $P_{\text{макс}}$ деяких парогазоповітряних сумішей (залежно від складу) наведені в табл. 21 додатків; $P_{\text{руйн.}}$ – тиск руйнування мембран [Па] приймають таким:

Робочий тиск, P_p .	Руйнівний тиск, $P_{\text{руйн.}}$
$P_{\text{бар}}$ ($V_v < 30$ м ³)	0,11 МПа
$P_{\text{бар}}$ ($V_v > 30$ м ³)	0,105 МПа
Менше 0,17 МПа	$P_p + 0,03$ МПа
0,17 МПа і більше	$1,25 P_p$

$\Delta V_{t,2}$ – об'єм газоподібних продуктів, які утворюються при згорянні (вибуху) 1 м³ горючої суміші стехіометричного складу, [м³/м³]; величину $\Delta V_{t,2}$ за формулою:

$$\Delta V_{t,2} = \frac{P_{\text{руйн}}}{P_c} \cdot \frac{T_{\text{вибуху}}}{T} \cdot \frac{\sum m_i}{\sum n_i}, \quad (6.37)$$

де: $T_{вибуху}$ – температура вибуху, [K]; $\sum m_i, \sum n_i$ – кількість молів (відповідно) продуктів згоряння і початкової горючої суміші; τ – час досягнення максимального тиску вибуху, с; значення величин τ_0 при вибуху горючих сумішей в апараті ємністю 0,01 м³ і початковому тиску 0,1 МПа наведені в додатках. Час досягнення максимального тиску вибуху залежить від об'єму апарата. Для апаратів порівняно невеликого об'єму час досягнення максимального тиску вибуху можна визначити за формулою:

$$\tau = 4,64 \cdot \tau_0 \cdot \sqrt[3]{V_0} . \quad (6.38)$$

Час досягнення максимального тиску вибуху у великогабаритних апаратах (наприклад, резервуарах) визначають за формулою:

$$\tau = \frac{0,31}{u_n \cdot V_{t,2}} \cdot \sqrt[3]{V_0} \quad (6.39)$$

де: ω – швидкість витікання газів через отвір, який утворюється при руйнуванні мембрани, [м/с]; при докритичному режимі витікання (коли $P_c > P_{кр}$), швидкість витікання визначають за формулою:

$$\omega_{докр} = \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R \cdot T_{вибуху} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_{руйн}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}; \quad (6.40)$$

при $P_c \leq P_{кр}$:

$$\omega_{кр} = \mu \cdot \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot R \cdot T_{вибуху}}, \quad (6.41)$$

де: μ – коефіцієнт швидкості (для отворів круглої форми $\mu=0,7$).

Загальну площу мембранного пристрою [м²] визначають за формулою:

$$F = f \cdot V_0 . \quad (6.42)$$

Якщо всі мембрани мають однаковий діаметр ($D_1 = D_2 = D_n = D$),

$$D \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot n}}, \quad (6.43)$$

де: n – кількість запобіжних мембран.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 6.1. Визначити розрахунком коефіцієнт теплопровідності і теплоємності пропано-повітряної суміші стехіометричного складу при 20 °С.

Розв'язок

Складаємо реакцію горіння пропану:



Визначаємо концентрацію пропану у початковій суміші стехіометричного складу:

$$\varphi_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_i} = \frac{1}{1+5(1+3,76)} = 0,0397 \text{ об.частки або } 3,97 \% \text{ об.}$$

З табл. 10 додатків беремо коефіцієнт теплопровідності пропану:

$$\lambda_{\text{г}} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

З табл. 10 додатків беремо коефіцієнт теплопровідності повітря:

$$\lambda_{\text{п}} = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

За формулою (6.2) визначаємо коефіцієнт теплопровідності газоповітряної суміші:

$$\lambda_c = \varphi_2 \cdot \lambda_2 + (1 - \varphi_2) \cdot \lambda_n =$$

$$= 0,0397 \cdot 1,9 \cdot 10^{-2} + (1 - 0,0397) \cdot 2,59 \cdot 10^{-2} = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$$

Аналогічно знаходимо питому теплоємність пропану і повітря:

$C_{\text{рг}} = 1667 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ – питома теплоємність пропану; $C_{\text{рп}} = 1005 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ – питома теплоємність повітря.

За формулою (6.3) визначаємо коефіцієнт теплоємності газоповітряної суміші:

$$C_{\text{р,с}} = \varphi_2 \cdot C_{\text{р,2}} + (1 - \varphi_2) \cdot C_{\text{р,п}} =$$

$$= 0,0397 \cdot 1,667 + (1 - 0,0397) \cdot 1,005 = 1,031 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$$

Співставивши коефіцієнти теплопровідності і питомих теплоємностей суміші з відповідними показниками повітря бачимо, що вони відрізняються не суттєво:

$$\delta_\lambda = \frac{2,59 \cdot 10^{-2} - 2,56 \cdot 10^{-2}}{2,56 \cdot 10^{-2}} \cdot 100 = 1,17 \% ;$$

$$\delta_c = \frac{1,031 - 1,005}{1,005} \cdot 100 = 2,59 \%$$

Відповідь. Таким чином в практичних розрахунках замість коефіцієнта теплопровідності і питомої теплоємності парогазоповітряної суміші, яка містить не більше 5 % горючого компонента, можна використовувати відповідні показники повітря.

Задача 6.2. Визначити критичний діаметр отворів сітчастого вогнеперешкоджувача, який встановлено на лінії аварійного викиду пропілену з апарата. Температура газу 40 °С, тиск в лінії $P_p = 0,3 \text{ МПа}$.

Розв'язок

Складаємо реакцію горіння пропілену в повітрі:



Визначаємо концентрацію пропілену у вихідній суміші стехіометричного складу:

$$\varphi_z = \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_i} = \frac{1}{1+4,5(1+3,76)} = 0,045 \text{ об.частки.}$$

З табл. 10 додатків знаходимо відповідно коефіцієнти теплопровідності пропілену та повітря: $\lambda_r = 1,5 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К; $\lambda_n = 2,44 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К.

За формулою (6.2) визначаємо коефіцієнт теплопровідності газоповітряної суміші:

$$\lambda_c = \varphi_z \cdot \lambda_z + (1 - \varphi_z) \cdot \lambda_n =$$

$$= 0,045 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} + (1 - 0,045) \cdot 2,44 \cdot 10^{-2} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

З табл. 10 додатків знаходимо відповідно коефіцієнти питомої теплоємності пропілену та повітря:

$C_{pr} = 1520$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність пропану;

$C_{pn} = 1004$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність повітря.

За формулою (6.3) визначаємо коефіцієнт теплоємності газоповітряної суміші:

$$C_{p,c} = \varphi_z \cdot C_{p,z} + (1 - \varphi_z) \cdot C_{p,n} =$$

$$= 0,045 \cdot 1520 + (1 - 0,045) \cdot 1004 = 1027 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

Розраховуємо питому газову сталу горючої пропаноповітряної суміші:

$$R = \frac{8314,31}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i} = \frac{8314,31}{\varphi_z \cdot M_z + (1 - \varphi_z) \cdot M_n} =$$

$$= \frac{8314,31}{0,045 \cdot 42,08 + (1 - 0,045) \cdot 28,96} = 281,4 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$$

Визначаємо критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача:

$$\delta_{кр} = \frac{Pe_{кр} \cdot R \cdot T_p \cdot \lambda}{U_n \cdot C_p \cdot P_p} = \frac{65 \cdot 281,4 \cdot 313 \cdot 3,36 \cdot 10^{-2}}{0,44 \cdot 1027 \cdot 3 \cdot 10^5} = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

Відповідь. Таким чином, критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача, який встановлено на лінії аварійного викиду пропілену, становить $\delta_{кр} = 4,3 \cdot 10^{-3}$ мм.

Задача 6.3. Визначити основні параметри гравійного вогнеперешкоджувача: діаметр гранул, гідравлічний опір шару насадки і діаметр перерізу. Витрата горючої суміші $360 \text{ м}^3/\text{год}$, товщина шару насадки $H=120$ мм, $\delta_{кр}=4,3$ мм.

Розв'язок

Діаметр гранул гравійного вогнеперешкоджувача визначаємо за формулою (5.13), а фактичний діаметр каналів в насадці за формулою (5.12).

При $\delta_{кр}=4,3$ мм $= 4,3 \cdot 10^{-3}$ м і $K_H=2$ $d=4,3 \cdot 10^{-3}/2=2,15 \cdot 10^{-3}$ і $d_{гр}=3,5 \cdot 2,15 \cdot 10^{-3}=7,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Визначаємо значення критерію Рейнольдса за формулою (5.17), у якій $\omega_{ф}=2$ м/с, а густину за формулою:

$$\rho_t = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \rho_{i,t} = 0,045 \cdot 1,638 + 0,955 \cdot 1,127 = 1,15 \text{ кг/м}^3,$$

$$\text{де } \rho_2 = \frac{42,08}{22,41} = 1,878 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_{2,t} = 1,878 \cdot \frac{273}{313} = 1,638 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_n = \frac{28,96}{22,41} = 1,292 \text{ кг/м}^3; \quad \rho_{n,t} = 1,292 \cdot \frac{273}{313} = 1,127 \text{ кг/м}^3;$$

$$\varphi_2 = 0,045 \text{ кг/м}^3; \quad \varphi_n = 1 - \varphi_2 = 1 - 0,045 = 0,955;$$

Визначаємо в'язкість компонентів суміші при робочій температурі ($t_p=40^\circ\text{C}$ – за умовою) за формулою (5.19):

в'язкість повітря

$$\mu_{n,t} = \mu_o \cdot \frac{t_o + C}{t_p + C} \sqrt{\left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273}\right)^3} = 1,73 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{273 + 124}{313 + 124} \cdot \sqrt{\left(\frac{313}{273}\right)^3} = 1,929 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

в'язкість пропілену

$$\mu_{2,t} = \mu_o \cdot \frac{t_o + C}{t_p + C} \sqrt{\left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273}\right)^3} = 0,835 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{293 + 322}{313 + 322} \cdot \sqrt{\left(\frac{313}{293}\right)^3} = 0,893 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с},$$

де $T_p=273+40=313$ К – за умовою; $\mu_{n,t}=1,73 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $C_n=124$ К;
 $\mu_{2,t}=0,893 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $C_r=322$ К (див. табл. 10 додатків).

Визначаємо в'язкість газової суміші за формулою (5.19 а):

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\varphi_r M_r + (1 - \varphi_r) \cdot M_n}{\varphi_r \cdot M_r \cdot \mu_n + (1 - \varphi_r) \cdot M_n \cdot \mu_r} \cdot \mu_r \cdot \mu_n = \\ &= \frac{0,045 \cdot 42,08 + (1 - 0,045) \cdot 28,96}{0,045 \cdot 42,08 \cdot 1,929 \cdot 10^{-5} + (1 - 0,045) \cdot 28,96 \cdot 0,893 \cdot 10^{-5}} \cdot 1,929 \cdot 10^{-5} \cdot 0,893 \cdot 10^{-5} = \\ &= 1,796 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}, \end{aligned}$$

З табл.19 додатків беремо величину S , яка дорівнює $S=1150 \text{ м}^{-1}$.

Критерій Рейнольдса визначаємо за формулою:

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot \omega_\phi \cdot \rho_t}{\mu \cdot S} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,15}{1,796 \cdot 10^{-5} \cdot 1150} = 445,5$$

Величину λ знаходимо з виразу (5.20 б):

$$\lambda = 1,56 / \text{Re}^{0,15} = 1,56 / 445,5^{0,15} = 0,625$$

Приймаємо опір шару насадки $\Delta P=150$ Па; $H=0,12$ м – за умовою.

Визначаємо d_e за формулою (5.16):

$$d_e = 4 \cdot \varepsilon / S = 4 \cdot 0,5 / 1150 = 0,00174 \text{ м},$$

де $\varepsilon=0,5$ – див. табл.19 додатків.

Уточнюємо значення фіктивної швидкості за формулою (5.22):

$$\omega_\phi^* = \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{(100 \dots 300) \cdot d_e}{2 \cdot \lambda \cdot H \cdot \rho_t}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{150 \cdot 0,00174}{2 \cdot 0,625 \cdot 0,12 \cdot 1,15}} = 0,615 \text{ м/с}.$$

Розрахована швидкість $\omega_\phi^* = 0,615 \text{ м/с}$ значно відрізняється від прийнятої раніше. Здійснюємо перерахунок критерію Рейнольдса, вважаючи, що $\omega_\phi^{**} = 0,5 \text{ м/с}$:

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 1,15}{1,796 \cdot 10^{-5} \cdot 1150} = 111,4.$$

Величину λ^* визначаємо за формулою (5.20 а):

$$\omega_\phi^{**} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{150 \cdot 0,00174}{2 \cdot 0,877 \cdot 0,12 \cdot 1,15}} = 0,52 \text{ м/с}$$

Оскільки отримане значення $\omega_\phi^{**} = 0,52 \text{ м/с}$ відрізняється від прийнятого $\omega_\phi^{**} = 0,5 \text{ м/с}$ менш ніж на 5%, то значення $\omega_\phi^{**} = 0,52 \text{ м/с}$ є істинним.

Визначаємо діаметр перерізу вогнеперешкоджувача за формулою (5.21):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_\phi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,1}{3,14 \cdot 0,52}} = 0,495 \text{ м.}$$

Уточнюємо опір насадки у вогнеперешкоджувачі за формулою (5.14), у якій:

$$\omega = \omega_\phi^{**} / \varepsilon = 0,52 / 0,5 = 1,04 \text{ м/с};$$

$$\Delta P' = 2 \cdot \lambda \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \omega^2 \cdot \rho_t = 2 \cdot 0,877 \cdot \frac{0,12}{0,00174} \cdot 1,04^2 \cdot 1,15 = 150,5 \text{ Па (при товщині шару}$$

120 мм).

Відповідь. Опір насадки у вогнеперешкоджувачі 150,5 Па, діаметр перерізу вогнеперешкоджувача 0,495 м.

Задача 6.4. В газовому просторі резервуара з пропаном (при певних умовах експлуатації) утворюються вибухонебезпечні концентрації. Для захисту корпусу від руйнування при вибуху горючої суміші резервуар обладнаний легкоскидною покрівлею. Дати висновок про надійність захисту резервуара від руйнування при вибуху середовища. Дані для розрахунків: об'єм газового простору – 5000 м³, температура горючої суміші 25 °С, діаметр резервуара 20,9 м. Робочий тиск в апараті 0,103 МПа. Температура навколишнього середовища 20 °С. Прийняти $K=1,2$.

Розв'язок

Визначається тиск вибуху, виходячи з умов повного згоряння пропано-повітряної суміші стехіометричного складу:



Об'єм газоподібних продуктів вибуху визначається за формулою (5.34), згідно з якою:

$$P_p = 1,03 \cdot 10^5 \text{ Па}; P_c = P_{\text{бар}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}; T_{p,r} = T_{\text{cp}} = 273 + 25 = 298 \text{ К}; (\text{за умовою});$$

$$\sum n_i = 1 + 5 \cdot 4,76 = 24,8 \text{ моля};$$

$$\sum m_i = 3 + 4 + 5 \cdot 4,76 = 25,8 \text{ моля};$$

Визначаємо вміст компонентів у початковій суміші:

$$\varphi_{C_3H_8} = \frac{n_{C_3H_8}}{\sum n_i} = \frac{1}{24,8} = 0,04;$$

$$\varphi_{O_2} = \frac{(1-0,04) \cdot 21}{100} = 0,2;$$

$$\varphi_{N_2} = 1 - (0,04 + 0,2) = 0,76.$$

Визначаємо теплоту згоряння початкової суміші при $T_p=298$ К (за умовою):

$$Q_{298}^{згор.} = \varphi_2 \cdot Q_2 + \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot C_i \cdot T_p,$$

де: $Q_2 = 2223,2 \cdot 10^3$ кДж/(кмоль); $C_{C_3H_8} = 73,56$ кДж/(кмоль·К);

$C_{O_2} = 29,38$ кДж/(кмоль·К); $C_{N_2} = 29,14$ кДж/(кмоль·К);

$$Q_{298}^{згор.} = 0,04 \cdot 2223,2 \cdot 10^3 + 0,04 \cdot 73,56 \cdot 298 +$$

$$+ 0,2 \cdot 29,38 \cdot 298 + 0,76 \cdot 29,14 \cdot 298 = 98155,51 \text{ кДж/кмоль}$$

Приймаємо попередню температуру вибуху $T_{вибуху}=2400$ К. Визначаємо склад продуктів згоряння:

$$\varphi_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{\sum m_i} = \frac{3}{25,8} = 0,116;$$

$$\varphi_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{\sum m_i} = \frac{4}{25,8} = 0,155;$$

$$\varphi_{N_2} = 1 - (0,116 + 0,155) = 0,729.$$

Обчислюємо внутрішню енергію продуктів згоряння за формулою:

$$Q_{пр.зг.} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot C_{i,t} \cdot T_{вибуху},$$

де: $C_{CO_2} = 60,79$ кДж/(кмоль·К); $C_{H_2O} = 52,18$ кДж/(кмоль·К);

$C_{N_2} = 36,56$ кДж/(кмоль·К);

$$Q_{пр.зг.} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot C_{i,t} \cdot T_{вибуху} = (0,166 \cdot 60,79 + 0,155 \cdot 52,18 +$$

$$= 0,729 \cdot 36,56) \cdot 2400 = 100300,27 \text{ кДж/кмоль.}$$

Оскільки, отримана величина близька до приймаємо $T_{вибуху}=2400$ К

$$\text{Обчислюємо: } V_{t,2} = \frac{1,03 \cdot 10^5}{1,0 \cdot 10^5} \cdot \frac{2400}{298} \cdot \frac{25,8}{24,8} = 8,63 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

Тиск спрацювання (руйнування) покрівлі резервуара при $P_p=P_{бар}$ і $V_B \geq 30 \text{ м}^3$ не повинен перевищувати 0,105 МПа. Тоді за формулою (5.33а) визначаємо величину :

$$\Delta V_t = V_{t,2} - \frac{P_{руйн}}{P_c} = 8,63 - \frac{1,05 \cdot 10^5}{1,03 \cdot 10^5} = 7,61.$$

Визначається час досягнення максимального тиску вибуху за формулою (5.35а):

$$\tau = \frac{0,31}{U_n \cdot V_{t,2}} \cdot \sqrt[3]{V_6} = \frac{0,31}{0,455 \cdot 8,63} \cdot \sqrt[3]{5000} = 1,35 \text{ с},$$

де: $U_n=0,455$ м/с (табл. 1 додатків), $V_6=5000$ м³ (за умовою).

Для обчислення швидкості витікання газів визначається величина $P_{кр}$ за формулою (3.6):

$$P_{кр} = P_p \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 1,05 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{2}{1,2+1} \right)^{\frac{1,2}{1,2-1}} = 0,59 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

При $P_c > P_{кр}$ швидкість витікання визначається за формулою (5.38), згідно якою ($\mu=0,7$ – приймається):

$$R = \frac{8314,31}{M} = \frac{8314,31}{28,32} = 293,58 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}.$$

У формулі M – молекулярна маса продуктів горіння, яка визначається за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i = 0,116 \cdot 44,01 + 0,155 \cdot 18,02 + 0,729 \cdot 28,02 = 28,32,$$

$K=1,2$ – за умовою.

$$\begin{aligned} \omega_{докр.} &= \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K}{K-1} \cdot R \cdot T_{бар} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_{руйн}} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]} = \\ &= 0,7 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,2}{1,2-1} \cdot 293,58 \cdot 2400 \cdot \left[1 - \left(\frac{1 \cdot 10^5}{1,05 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} \right]} = 183,1 \text{ м/с} \end{aligned}$$

За формулою (5.32):

$$f = \frac{\Delta V_t}{\tau \cdot \omega} = \frac{7,61}{1,35 \cdot 183,1} = 0,0308 \text{ м}^2 / \text{м}^3$$

Визначаємо за формулою (5.36) загальну площу скидної покрівлі резервуара:

$$F = f \cdot V_6 = 0,0308 \cdot 5000 = 154 \text{ м}^2,$$

що відповідає діаметрові отвору: $D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 154}{3,14}} = 14 \text{ м}.$

Відповідь. Таким чином, наявність ослабленого зварного шва на покрівлі резервуара при вибуху горючої суміші надійно захистить корпус резервуара від руйнування. Оскільки діаметр отвору, який необхідний для відведення продуктів згорання, значно менший від діаметра резервуара

($D=14 \text{ м} < D=20,9 \text{ м}$), то можливе часткове підривання покрівлі з обваленням її в резервуар, що ускладнить гасіння продукту, що горить.

Задача 6.5. Визначити тривалість аварійного перекачування нафти і нафтопродуктів в безпечне місце (резервуарний парк) при виникненні пожежі на технологічній установці. Прийняти густину нафти і нафтопродуктів $\rho_t=850 \text{ кг/м}^3$. Дані для розрахунку: об'єм рідини, що перекачується, – 1200 м^3 ; коефіцієнт витрати системи – $\varphi_{\text{сист.}}$; діаметр трубопроводу – 120 мм ; робочий напір насоса – $1,1 \text{ МПа}$. Апарати установки розташовані на 8 м нижче від резервуарного парку.

Розв'язок

Визначаємо тривалість аварійного перекачування за формулою (5.29):

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,226 \cdot V_p}{\varphi_{\text{сист.}} \cdot f_{\text{тр}} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\rho_z \cdot g} \pm H}},$$

або:

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,226 \cdot 1200}{0,25 \cdot 0,01133 \cdot \sqrt{\frac{11 \cdot 10^5}{850 \cdot 9,81} - 8}} = 8623,9 \quad c = 2,4 \text{ год},$$

де: $V_p=1200 \text{ м}^3$; $\varphi_{\text{сист.}}=0,25$; $d_{\text{тр}}=120 \text{ мм}=0,12 \text{ м}$; $P_p=1,1 \text{ МПа}=11 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $\rho_t=850 \text{ кг/м}^3$; $H=-8 \text{ м}$ (за умовою);

$$f_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,12^2}{4} = 1,13 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

Відповідь. Тривалість аварійного перекачування нафти і нафтопродуктів в безпечне місце (резервуарний парк) становить $2,4 \text{ год}$.

Задача 6.6. Оцінити діаметр аварійного самопливного трубопроводу за умови, що тривалість спорожнення апарата не повинна перевищувати 5 хв . Аварійний трубопровід має вхід з гострими краями ($\zeta_{\text{вх}}=0,5$), трійник для бокового потоку ($\zeta_{\text{тр.б.}}=1,2$), гідрозатвор ($\zeta_r=1,3$), чотири повороти з кутом повороту 90° при $R \approx 5 \cdot d_{\text{тр}}$ ($\zeta_n=0,5$). Величину коефіцієнта місцевого опору виходу рідини з трубопроводів прийняти $0,5$. Дані для розрахунку: об'єм рідини, що зливається, 3 м^3 ; $H_1=7 \text{ м}$; $H_2=5 \text{ м}$.

Розв'язок

Визначаємо сумарний коефіцієнт місцевих опорів аварійного трубопроводу:

$$\begin{aligned} \zeta_c &= \sum_{i=1}^n N_i \cdot \zeta_i = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{тр.б.}} + \zeta_r + n \cdot \zeta_n + \zeta_{\text{вих}} = \\ &= 0,5 + 1,2 + 1,3 + 4 \cdot 0,5 + 0,5 = 5,5. \end{aligned}$$

де: N_i – кількість місцевих опорів одного виду; ζ_i – чисельне значення i -го коефіцієнта; n – кількість колін на трубопроводі.

Визначаємо коефіцієнт витрат системи за формулою (5.25 а):

$$\varphi_{\text{сист}} = \sqrt{\frac{1}{1+3 \cdot \zeta_c}} = \sqrt{\frac{1}{1+3 \cdot 5,5}} = 0,239.$$

Визначаємо діаметр аварійного самопливного трубопроводу за формулою (5.28):

$$\begin{aligned} d_{\text{тр}} &= 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_p}{\tau_{\text{спор.м.}} \cdot \varphi_{\text{сист}} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}} = \\ &= 0,758 \cdot \sqrt{\frac{3}{300 \cdot 0,239 \cdot (\sqrt{7} + \sqrt{5})}} = 0,010 \text{ м} = 10 \text{ мм} \end{aligned}$$

Відповідь. Діаметр аварійного самопливного трубопроводу становить 10 мм.

Задача 6.7. Обґрунтувати розрахунком виконання умов аварійного зливу горючої рідини з апарату. Апарат має квадратний переріз; розміри сторін в плані: $a=1,5$ м; $h=3$ м; ступінь заповнення $\varepsilon=0,8$; $\tau_{\text{оп}}=1$ хв, $[\tau]=15$ хв. Відстань по вертикалі від рівня рідини до аварійного апарату $H_1=6,5$ м; $P_n=0,2$ МПа; $\varphi_{\text{сист}}=0,22$; $d_{\text{вих.}}=100$ мм. Горюча рідина – ацетон. Температура рідини 20°C .

Розв'язок

Визначаємо площу прохідного перерізу вихідного патрубку системи аварійного зливу:

$$f_{\text{вих}} = \frac{\pi d_{\text{вих}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,00785 \text{ м}^2$$

де: $d_{\text{вих.}}=100$ мм – за умовою.

Визначаємо величину H_1 :

$$H_{1\text{нр}} = \frac{P_n}{\rho_t \cdot g} + H_1 = \frac{2 \cdot 10^5}{790,5 \cdot 9,81} + 6,5 = 32,29 \text{ м},$$

де: $P_n=0,2$ МПа= $2 \cdot 10^5$ Па; $H_1=6,5$ м; $\rho_t=790,5$ кг/м³ – за умовою; $g=9,81$ м/с² – прискорення сили тяжіння.

$$H_2 = H_1 - h \cdot \varepsilon = 6,5 - 3 \cdot 0,8 = 4,1 \text{ м},$$

де: $h=3$ м; $\varepsilon=0,8$ – за умовою.

Визначаємо тривалість спорожнення апарату за формулою (5.23):

$$\begin{aligned}\tau_{\text{спор}} &= \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\varphi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вих}}} = \\ &= \frac{0,452 \cdot 2,25 \cdot (\sqrt{32,29} - \sqrt{29,89})}{0,22 \cdot 0,00785} = 126,8 \text{ с},\end{aligned}$$

де: F – площа поперечного перерізу апарата, $[m^2]$; $F = a^2 = 1,5^2 = 2,25 \text{ м}^2$; $\varphi_{\text{сист}}=0,22$.

Визначаємо тривалість аварійного зливу за формулою (5.23):

$$\tau_{\text{зл}} = \tau_{\text{спор}} + \tau_{\text{опер}} < [\tau]_{\text{зл}}$$

$$\tau_{\text{зл}} = 126,8 + 60 = 186,8 \text{ с (де } \tau_{\text{опер}} = 60 \text{ с – за умовою)}.$$

При $[\tau]_{\text{зл}} = 900 \text{ с}$ умова аварійного зливу ацетону з апарата виконується, оскільки $\tau_{\text{зл}} < [\tau]_{\text{зл}}$ ($186,8 \text{ с} < 900 \text{ с}$).

Відповідь. Умова аварійного зливу ацетону з апарата виконується, оскільки $\tau_{\text{зл}} < [\tau]_{\text{зл}}$ ($186,8 \text{ с} < 900 \text{ с}$).

Задача 6.8. При пожежі на установці чи загрозі її виникнення пара бензолу викидається трубопроводом діаметром 150 мм з апарата в газгольдер, надлишковий тиск середовища в якому не перевищує $4 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Обґрунтувати розрахунком виконання умови аварійного випуску горючих парів з апарата.

Початкові дані для розрахунку: робоча температура – $100 \text{ }^\circ\text{C}$, об'єм апарата – 120 м^3 , робочий тиск – $0,2 \text{ МПа}$, коефіцієнт опору лінії – $\varphi_{\text{сист}}=0,5$; тривалість операцій для приведення системи дію не перевищує 60 с .

Розв'язок

Визначаємо величину критичного тиску за формулою (3.6), згідно з якою

$$P_p = 2 \cdot 10^5 \text{ Па} \text{ – за умовою, } k=1,1 \text{ – з табл.5 додатків.}$$

Тоді:

$$P_{\text{кр}} = P_p \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 2,0 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{2}{1,1+1} \right)^{\frac{1,1}{1,1-1}} = 1,17 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Оскільки тиск в газгольдері менший за критичний ($P_c = 1,0 \cdot 10^5 + 4,0 \cdot 10^3 = 1,04 \cdot 10^5 \text{ Па}$), розрахунок тривалості аварійного викиду парів бензолу з апарата здійснюється за формулою (5.30), згідно з якою $\tau_{\text{оп}}=60 \text{ с}$ (за умовою); $[\tau]_{\text{вип}}=300 \text{ с}$ (прийнято).

Величини $\tau_{\text{вип}}^{\text{кр}}$, $\tau_{\text{вип}}^{\text{докр}}$ визначаємо за формулами (5.31) і (5.31а), згідно з якими :

$$\tau_{вин}^{кр} = \frac{V_v \cdot (P_p - P_{кр})}{P_{бар} \cdot \varphi_{сист} \cdot f_{мп} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1}} \cdot R \cdot T_p} =$$

$$= \frac{120 \cdot (2 \cdot 10^5 - 1,17 \cdot 10^5)}{1 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot 0,0177 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,1}{1,1+1}} \cdot 106,44 \cdot 373} = 55,2 \text{ с};$$

$$\tau_{вин}^{докр} = \frac{V_v \cdot (P_{кр} - P_c)}{P_{бар} \cdot \varphi_{сист} \cdot f_{мп} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1}} \cdot R \cdot T_p \cdot \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_{кр}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} =$$

$$= \frac{120 \cdot (2 \cdot 10^5 - 1,17 \cdot 10^5)}{1 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot 0,0177 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,1}{1,1+1}} \cdot 106,44 \cdot 373 \cdot \left[1 - \left(\frac{1,04 \cdot 10^5}{1,17 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,1-1}{1,1}} \right]} =$$

$$= 18,3 \text{ с};$$

де: $V_v=120 \text{ м}^3$; $T_p= 273+100=373 \text{ К}$; $\varphi_{сист}=0,5$; $d_{тр}=150 \text{ мм}=0,15 \text{ м}$ (за умовою); $P_{бар}=1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (прийнято);

$$f_{мп} = \frac{\pi \cdot d_{мп}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} = 1,77 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2;$$

$$R = \frac{8314,31}{M} = \frac{8314,31}{78,11} = 106,44 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

$M=78,11$ – за табл. 1 додатків.

Умову аварійного викиду парів бензолу з апарата перевіряємо з нерівності:

$$\tau_{вин} = \tau_{вин}^{кр} + \tau_{вин}^{докр} + \tau_{он} \leq [\tau]_{вин};$$

В даному випадку:

$$\tau_{вин} = 55,2 + 18,3 + 60 = 133,5 \text{ с} < [\tau]_{вин} = 300 \text{ с},$$

тобто умова аварійного викиду парів бензолу з апарата дотримана.

Відповідь. Таким чином, умова аварійного викиду парів бензолу з апарата дотримана.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

6.1. Визначити критичний діаметр отворів сітчастого вогнеперешкоджувача, який встановлено на лінії аварійного викиду горючого газу з апарата. Вид горючого газу, його температура та тиск наведені в табл.6.1.

Таблиця 6.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	аміак	ацетилен	бутан	водень	метан	оксид вуглецю	пропан	сірководень	етан	етилен
Температура газу, °С	15	30	35	20	10	15	25	15	10	20
Тиск, МПа	0,20	0,35	0,45	0,15	0,25	0,30	0,20	0,15	0,60	0,50

6.2. Візуальний огляд вогнеперешкодного елемента касетного вогнеперешкоджувача, який встановлений на продувній лінії апарата, виявив деформацію і пошкодження деяких каналів в ньому. Вимірювання показали, що максимальний діаметр каналів досягає d мм. Проаналізувати небезпеку поширення вогню продувною лінією, яка оснащена цим вогнеперешкоджувачем (небезпека виникнення детонаційного горіння відсутня). Вид горючої речовини та інші дані для розрахунку наведені в табл. 6.2. Тиск газоповітряної суміші в продувній лінії близький до атмосферного.

Таблиця 6.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча речовина	аміак	етилен	н-бутан	пропілен	водень	метан	сірководень	оксид вуглецю	етан	пропан
d , мм	4,5	4,0	3,8	4,3	2,8	4,2	3,8	4,1	3,9	3,7
t , °С	22	10	15	20	18	21	24	19	15	32

6.3. У виробничому приміщенні площею S відбулася аварія (повне руйнування) змішувача під час наповнення його продуктом (емаллю). Оцінити можливість затікання емалі у сусідні приміщення через дверні прорізи з порогами висотою h , за необхідності запропонувати обґрунтовані розрахунками заходи протипожежного захисту. Вид розчинника, що міститься в емалі, його концентрація, геометричний об'єм апарата $V_{\text{ап}}$,

ступінь його наповнення в момент аварії ϵ , продуктивність заповнення апарата емаллю q , спосіб від'єднання насоса та інші дані наведені в табл. 6.3. Температура емалі 25 °С.

Таблиця 6.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розчинник (концентрація, % мас.)	бензол (50%)	метанол (60%)	пропанол (70%)	толуол (65%)	ацетон (75%)	бензол (80%)	етанол (68%)	толуол (72%)	метанол (70%)	ацетон (50%)
$V_{ан}, M^3$	4,2	2,6	5,8	3,5	6,7	2,1	4,3	3,9	6,4	4,0
ϵ	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8	0,9
$q, M^3/хв$	0,7	0,4	3,2	2,2	0,7	2,0	3,4	2,0	1,6	2,8
Спосіб від'єднання насоса	Ручний		Автоматичний		Ручний		Автоматичний		Ручний	
S, M^2	65		85		50		70		120	
$h, м$	0,1	0,05	0,12	0,08	0,06	0,11	0,14	0,08	0,09	0,13

Примітка. Тривалість від'єднання насоса визначити згідно з нормами.

6.4. Підготувати технічне завдання на розробку гравійного вогнеперешкоджувача (визначити основні параметри вогнеперешкоджувача), встановленого на продувній лінії апарата. Вид горючої речовини та інші дані взяти з табл. 6.4. – 6.5. Тиск на лінії продувки близький до атмосферного ($1 \cdot 10^5$ Па).

Таблиця 6.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча речовина	н-бутан	ацетилен	аміак	метан	оксид вуглецю	пропан	сірководень	етанол	водень	етилен
Температура суміші, °С	10	30	35	20	10	15	25	35	20	15
Витрата горючої суміші, $M^3/год$	100	150	200	250	300	175	225	275	325	125

Таблиця 6.5

№ варіанта	1	2	3	4	5
Концентрація горючої речовини, % об.	стехіометрія	42	22	13	31

6.5. В газовому просторі апарата з горючими рідинами (при певних умовах експлуатації) утворюються вибухонебезпечні концентрації. Для захисту корпусу від руйнування при вибуху горючої суміші апарат обладнаний легкоскидною покрівлею. Дати висновок про надійність захисту апарата від руйнування при вибуху середовища. Дані для розрахунків наведені в табл. 6.6. Робочий тиск в апараті 0,103 МПа. Температура навколишнього середовища 20 °С. Прийняти $K=1,2$.

Таблиця 6.6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча речовина в газовому просторі апарата	н-бутан	н-гексан	н-гептан	метанол	толуол	етанол	бензол	етан	ацетон	етилбензол
Об'єм газового простору, м ³	2000 0	1000 0	3000	200	2000	100	1000	30 0	400	5000
Температура горючої суміші, °С	25	30	40	50	30	50	30	60	35	40
Діаметр апарата, м	39,9	28,5	19,0 2	6,0	14,9	4,7	10,9	7,3	8,5	20,9

6.6. У виробничому процесі всередині апарата з горючим продуктом (при певних умовах експлуатації) утворюється вибухонебезпечна парогазова суміш. Для захисту апарата від руйнування при вибуху він оснащений розривним мембранним пристроєм. Дати висновок про правильність підбору мембранного пристрою і надійністю захисту апаратів від руйнування. Матеріал розривної мембрани і швидкість його корозії у технологічному середовищі взяти з табл. 6.7. Вид горючого продукту, його концентрацію та інші дані для розрахунку наведені в табл. 6.8. Викидання середовища з апарата при спрацюванні мембрани здійснюється в атмосферу.

Таблиця 6.7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Матеріал мембранни	Алюміній м'який		Мідь м'яка		Нержавіюча сталь м'яка		Нікель м'який		Нікель напівтвердий	
Швидкість корозії, мм/год	0,002	0,004	0,006	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002

Таблиця 6.8

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	ацетон	н-гексан	толуол	циклогексан	етанол	бензол	н-бутан	метанол	пропан	н-бутан
Концентрація, % об.	8,0	ст.*	4,0	ст.	ст.	4,0	ст.	ст.	6,0	ст.
Діаметр апарата, м	1,1	1,5	2,2	1,6	2,5	0,7	3,0	0,9	4,0	1,3
Висота апарата, м	1,9	1,2	1,7	2,3	2,0	3,2	3,0	2,4	3,0	2,7
Робоча температура, °С	235	80	150	120	200	380	-30	310	0	240
Робочий тиск, МПа	0,12	0,2	0,1	1,1	0,15	0,7	0,1	0,13	0,1	0,4
Площа скидних отворів, м ²	0,02	0,03	0,24	0,08	0,5	0,01	0,7	0,02	1,1	0,3
Товщина мембрани, мм	0,04	0,04	0,03	0,45	0,04	0,15	0,05	0,03	0,05	0,07
Кількість мембран	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2

ст.* – стехіометрична концентрація горючого

6.7. Після реконструкції технологічної установки скидання парогазового середовища із запобіжних клапанів здійснюють не на факел, а у спеціальну закриту систему. Провести перевірочний розрахунок запобіжного клапана, який встановлено на ресивері стисненого горючого газу. Вид

горючого газу в ресивері і його робочу температуру прийняти згідно з таблицею 6.9. Робочий тиск у апараті та інші дані для розрахунку наведені в таблиці 6.10. Тип встановленого запобіжного клапана – запобіжний, спеціальний, повнопідйомний, пружинний, фланцевий (СППК-4).

Таблиця 6.9

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	аміак		метан		етан		етилен		водень	
Робоча температура газу, °С	20	80	10	20	15	60	30	20	15	80

Таблиця 6.10

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Робочий (абсолютний) тиск, МПа	0,8	0,4	1,0	0,5	2,4	1,3	1,4	0,7	3,5	2,1
Робоча температура, °С	20	80	10	20	15	60	80	20	15	80
Коефіцієнт витрати середовища через клапан	0,15	0,16	0,15	0,16	0,17	0,15	0,16	0,15	0,17	0,16
Діаметр сопла, мм	40	30	50	30	72	40	72	40	72	50
Довжина відвідного трубопроводу, м	200	100	250	150	300	200	150	200	200	300
Кількість поворотів на відвідному трубопроводі	4	8	5	12	6	9	3	7	5	8
Тиск (абсолютний) в замкненій системі, МПа	0,12	0,13	0,14	0,15	0,14	0,11	0,12	0,13	0,15	0,14
Найбільший протік газу в ресивер під час аварії, кг/год	350	250	800	300	1600	500	1500	400	2300	1500

6.8. Запропонувати тип зовнішньої парової завіси для захисту технологічної трубчастої печі нафтопереробної установки та провести її розрахункове обґрунтування. Розміри печі на плані (а х b) наведені в таблиці 6.11. Підвідний паропровід виконано з труб діаметром $d_{вн}$, а його загальна довжина $\sum_{i=1}^n l_i$ наведена в табл.6.11. Висоту печі та інші дані для розрахунку взяти з табл.6.12.

Таблиця 6.11

№ варіанта	1	2	3	4	5
а х b, м	12x8	10x6	14x8	24x10	18x10
$\sum_{i=1}^n l_i$, м	120	140	160	180	200

Таблиця 6.12

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Висота печі, м	6	8	10	12	14	7	9	11	15	18
Кількість небезпечних зон	4	3	3	2	2	4	3	3	2	1
Кількість локальних небезпечних зон	12	15	20	14	16	18	20	14	14	9
Діаметр кожної локальної зони, м	0,6	0,5	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5
Кількість поворотів на паропроводі	4	6	8	8	4	6	5	12	7	5

6.9. При пожежі на установці чи загрозі її виникнення горючий газ (пара горючої рідини) викидається з апарата в атмосферу (варіант А) або в газгольдер (варіант Г), надлишковий тиск середовища в якому не перевищує $4 \cdot 10^3$ Па. Обґрунтувати розрахунком виконання умов аварійного випуску горючих газів (парів) з апарата. Вид горючого газу (пари) та інші дані для розрахунку наведені в табл. 6.13. Коефіцієнт опору лінії $\varphi_{сист}=0,5$; тривалість операцій для приведення системи дію не перевищує 60 с.

Таблиця 6.13

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ (пара горючої рідини)	ацетилен	аміак	етанол	метанол	метан	сірко-водень	етилен	оксид вуглецю	етан	водень
Робоча температура, °С	15	30	90	100	20	15	100	150	50	200
Об'єм апарата, м ³	500	100	150	200	400	600	800	300	50 0	200
Робочий тиск, МПа	0,17	0,7	0,15	1,2	3,0	2,5	0,5	0,4	1,8	20,0
Місце викиду	А	Г	А	А	А	Г	А	Г	А	А
Діаметр трубопроводу	100	150	200	100	150	200	100	150	20 0	100

6.10. Визначити тривалість аварійного перекачування нафти і нафтопродуктів в безпечне місце (резервуарний парк) при виникненні пожежі на технологічній установці. Прийняти густину нафти і нафтопродуктів $\rho_t=850$ кг/м³. Дані для розрахунку приведені в табл.6.14.

Таблиця 6.14

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм рідини, що перекачується, м ³	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800
$\Phi_{\text{сист.}}$	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,25	0,2	0,15	0,1
Діаметр трубопроводу, мм	100	120	140	160	100	120	140	160	180	200
Робочий напір насоса, МПа	0,8	0,9	1,0	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Різниця позначок рівнів, м	+20	-20	+15	-15	-5	-10	-5	+5	+10	+5

6.11. Оцінити діаметр аварійного самопливного трубопроводу за умови, що тривалість спорожнення апарата не повинна перевищувати 5 хв. Дані для розрахунку наведені в табл.6.15. Аварійний трубопровід має вхід з плавним заокругленням, трійник для прямого потоку, засувку, гідравлічний затвор, п'ять плавних поворотів в (колін) з кутом повороту 90° при $R \approx 5 \cdot d_{тр}$. Величину коефіцієнта місцевого опору виходу рідини з трубопроводів прийняти 0,5.

Таблиця 6.15

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм рідини, що зливається, м ³	2	3	4	2	3	4	2	3	4	5
H ₁ , м	4	3	3	2	3	5	4	6	7	8
H ₂ , м	2	5	6	4	6	8	6	8	10	12

6.12. Обґрунтувати розрахунком виконання умови аварійного зливу горючої рідини з апарата, форма і розміри якої наведені в табл. 6.16. Вид горючої рідини прийняти за табл. 6.16. Температура рідини 20°C.

Таблиця 6.16

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	ацетон	Н-гексан	толуол	цикло-гексан	етанол	бензол	Н-бутан	метанол	пропанол	толуол
Форма і розміри апарата	D=3 м h=4 м R=1,5 м ε=0,8	D=2 м h ₁ =3 м h ₂ =1 м ε=0,9	D=3 м L=6 м R=1,5 м ε=1,0	D=3 м h ₁ =1,5 м h ₂ =3 м ε=1,0	h=3 м R=1,5 м ε=1,0					
τ _{опер} , хв	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
[τ] _{зл} , хв	8	10	12	8	10	12	8	10	12	8
Перепад висот, H ₁ , м	6	8	10	12	11	9	7	5	8	11
Режим зливу, МПа	самоплив	під тиском (0,2)	самоплив	під тиском (0,15)	самоплив	під тиском (0,3)	самоплив	під тиском (0,25)	самоплив	під тиском (0,35)
d _{вих.} , мм	50	60	70	80	90	100	90	80	70	60
φ _{сист}	0,1	0,2	0,3	0,15	0,25	0,1	0,2	0,3	0,15	0,25

2.2. МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМУНІКАЦІЙ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТІВ ВІД ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ

1. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГРАВІЙНОГО ВОГНЕПЕРЕШКОДЖУВАЧА

Виробничі пароповітряні комунікації захищають від розповсюдження полум'я сухими вогнеперешкоджувача: сітчастими, касетними, гравійними або металокерамічними, основний розрахунковий параметр яких – критичний діаметр вогнеперешкоджувального елемента.

Розрахунок гравійного вогнеперешкоджувача проводиться за такою методикою:

1. Складають рівняння горіння в повітрі 1 моля горючої речовини і визначають концентрацію компонентів в початковій горючій суміші стехіометричного складу:

$$\varphi_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{та} \quad \varphi_n = 1 - \varphi_2$$

де: φ_2 – концентрація горючого компонента в початковій суміші стехіометричного складу, [об. частки]; m_i – кількість молей i -того компонента суміші; n – кількість компонентів у суміші; φ_n – концентрація повітря в початковій суміші.

Для горючих речовин, які складаються з атомів С, Н, О, Cl, Br, I і F визначають стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння:

$$\beta = n_C + \frac{(n_H - n_X)}{4} - \frac{n_O}{2},$$

де n_C , n_H , n_X , n_O – відповідно число атомів в молекулі горючого вуглецю, водню, галогідів і кисню.

$$\text{В цьому випадку} \quad \varphi_2 = \frac{1}{(1 + 4,84 \cdot \beta)}.$$

2. Визначаємо питому газову сталу початкової суміші R , її питому теплоємність C_p , коефіцієнт теплопровідності λ (див. задачу 6.1). З табл. 1 додатків вибираємо нормальну швидкість розповсюдження полум'я u_n .

3. Визначаємо критичний діаметр каналів у шарі гранул (гравію):

$$\delta_{кр} \leq \frac{65 \cdot R \cdot (t_p + 273) \cdot \lambda}{u_n \cdot C_p \cdot P_p},$$

де: R – питома газова стала початкової суміші, [Дж/кг · К]; t_p – температура початкової суміші, [°С]; λ – коефіцієнт теплопровідності початкової суміші, [Вт/м · К]; u_n – нормальна швидкість розповсюдження полум'я, [м/с]; C_p – питома теплоємність початкової суміші, [Дж/кг · К]; P_p – тиск початкової суміші, [Па].

4. Визначаємо фактичний діаметр каналі у шарі гранул d : $d = \frac{\delta_{кр}}{K_6}$,

де: K_6 – коефіцієнт безпеки, приймаємо $K_6 \geq 2$.

5. Визначаємо діаметр гранул (гравію) насадки вогнеперешкоджувача $d_{гр}$.

$d \times 10^3, \text{м}$	1	2	2,5	3	3,6	4	5	6,3	10
$d_{гр} \times 10^3, \text{м}$	2	3	4	5	6	7	8	9	15

6. Визначаємо густину компонентів горючої суміші стехіометричного складу при робочій температурі горючої речовини та повітря.

7. Визначаємо густину початкової суміші при робочій температурі ρ_t за формулами наведеними у табл. 3 додатка.

8. Визначаємо в'язкість компонентів горючої суміші при робочій температурі горючої речовини:

$$\mu_2 = \mu_o \cdot \frac{t_o + C}{t_p + C} \sqrt{\left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273}\right)^3},$$

де: μ_r і μ_o – коефіцієнти динамічної в'язкості газу (пари) відповідно при робочій температурі t_p і при температурі t_o , при якій вони наведені в довідковій літературі, [Па·с]. Значення коефіцієнта динамічної в'язкості і константи C деяких речовин при температурі $t_o=0^\circ\text{C}$ наведені в табл. 10 додатків; μ_n – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря (табл. 15 додатків).

9. Визначаємо в'язкість двокомпонентної горючої суміші при робочій температурі:

$$\mu = \frac{\varphi_r M_r + (1 - \varphi_r) \cdot M_n}{\varphi_r \cdot M_r \cdot \mu_n + (1 - \varphi_r) \cdot M_n \cdot \mu_r} \cdot \mu_r \cdot \mu_n,$$

де: індекс „г” має відношення до горючої речовини; індекс „п” має відношення до повітря; M – молекулярна маса компонента; молекулярна маса повітря $M_{п} = 28,96$ кг/кмоль; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, [Па·с].

При стехіометричній концентрації горючої речовини у початковій горючій суміші менше 5 % об. в'язкість, густину та інші показники горючої суміші можна вважати такими як у повітря.

10. З табл. 21 додатків за діаметром гранул та їх матеріалом знаходимо питому поверхню S в $\text{м}^2/\text{м}^3$ та вільний об'єм ε гранул.

11. Подальші розрахунки проводимо з використанням методу послідовних наближень, для чого задаються значенням фіктивної швидкості ω_ϕ , яку приймають в межах $\omega_\phi = 0,2 - 1,5$ м/с.

12. Визначаємо число Рейнольдса для газового потоку в пористому прошарку гранул: $Re = \frac{4 \cdot \omega_\phi \cdot \rho_t}{\mu \cdot S}$.

13. Визначаємо коефіцієнт гідравлічного опору шару гранул λ_r в гравійному вогнеперешкоджувачі залежно від значення числа Re :

$$\text{при } Re \leq 40 \quad \lambda_2 = 140/Re,$$

$$\text{при } Re > 40 \quad \lambda_2 = 16/Re^{0,2}$$

14. Визначаємо еквівалентний діаметр вогнегасних каналів у шарі гранул:

$$d_e = 4 \cdot \varepsilon / S, \text{ [м]}.$$

15. Приймаємо висоту шару гранул у вогнеперешкоджувачі:

$$H = (40 \div 50) \cdot d_{zp}, \text{ [м]}.$$

16. Уточнюємо значення фіктивної швидкості горючої суміші в насадці вогнеперешкоджувача:

$$\omega_\phi = 1,41 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot d_e}{\lambda_z \cdot H \cdot \rho_t}},$$

де: ΔP – втрати напору в шарі гранул, [Па]; втрати напору не повинні перевищувати 100 – 200 Па.

17. Визначаємо похибку при завданні фіктивної швидкості:

$$\delta_\omega = \frac{|\omega'_\phi - \omega_\phi|}{\omega_\phi} \cdot 100\%.$$

Якщо похибка не перевищує 5 %, вважають значення ω_ϕ істинним і продовжують розрахунки.

Якщо, $\delta_\omega \geq 5\%$, то задаються новим значенням фіктивної швидкості:

$$\text{при } \omega_\phi > \omega_\phi^* \quad \omega_\phi^{**} \approx 0,9 \cdot \omega_\phi^*,$$

$$\text{при } \omega_\phi < \omega_\phi^* \quad \omega_\phi^{**} \approx 1,1 \cdot \omega_\phi^*.$$

та повторюють розрахунки, починаючи з п.12, доки похибка при визначенні фіктивної швидкості не зменшиться до величини $\delta_\omega < 5\%$.

18. Визначаємо діаметр корпусу вогнеперешкоджувача як найбільшу величину з наступних двох значень:

$$D = \max \left[\sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_\phi}}; 20 \cdot d_{zp} \right],$$

де: Q – витрата горючої суміші трубопроводу, що захищається, [м³/с].

19. Визначаємо дійсну швидкість газової суміші в вогнеперешкоджувачі: $\omega = \omega_\phi / \varepsilon$.

20. Перевіряємо витрати напору в шарі гранул вогнеперешкоджувача:

$$\Delta P' = \lambda \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho_t.$$

21. Визначаємо похибку при розрахунку втрат напору:

$$\delta_p = \frac{|\Delta P - \Delta P'|}{\Delta P} \cdot 100\%.$$

При $\delta_p < 5\%$ розрахунки вважаються закінченими.

При $\delta_p \geq 5\%$ розрахунки повторюємо з пункту 16, прийнявши нове значення:

$$\Delta P'' = \frac{(\Delta P + \Delta P')}{2}.$$

22. Результати розрахунку параметрів вогнеперешкоджувача (технічна характеристика):

- горюча речовина;
- критичний діаметр каналів $d_{кр}$, [м];

- діаметр гранул $d_{гр}$, [м];
- висота шару гранул H , [м];
- діаметр корпусу вогнеперешкоджувача D , [м];
- опір шару насадки ΔP , [Па].

2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗОВНІШНЬОЇ ПАРОВОЇ ЗАВІСИ

Для запобігання проникненню до печей або інших апаратів вогневої дії горючих парогазоповітряних сумішей, які можуть утворюватись при аваріях на сусідніх технологічних апаратах, використовуються зовнішні парові завіси. Зовнішня парова завіса виконується у двох варіантах:

- неперервна відбивна завіса для захисту однієї, трьох або чотирьох сторін окремої печі або блоку печей;
- локальна флегматизуюча завіса для захисту на печі окремих елементів або зон, які являють собою небезпеку як джерело запалювання.

Безперервна відбивна завіса може бути однарусна при висоті небезпечної зони до 10 м і двоярусна при висоті небезпечної зони понад 10 м. Для утворення парової завіси вздовж небезпечної сторони печі (або небезпечних сторін) на рівні виробничого майданчика, між його межею і каркасом печі, прокладається перфорований трубопровід.

Розрахунок зовнішньої парової завіси трубчастої печі проводиться у такому порядку.

1. Приймаються такі фіксовані параметри роботи зовнішньої парової завіси:

- тиск (абсолютний) насиченої водяної пари в колекторі $P_k \geq 2 \cdot 10^5$ Па;
- коефіцієнт витрат паропроводу від колектора до виходу водяної пари в атмосферу $\varphi_{сист} = 0,6$;
- швидкість витікання водяної пари через отвори $\omega_{п} = 200$ м/с;
- питома витрата пари $q_{п} = 100$ кг/(м²·с);
- швидкість витікання атмосферного повітря $\omega_{пов} \leq 1,5$ м/с.

2. Виходячи з конструктивних особливостей печі і її розташування на виробничому майданчику, визначають висоту захисної зони

$$H = H_{max}$$

де H_{max} – максимальна відстань від нульової позначки виробничого майданчика до найвищої позначки печі або граничного за висотою місця розташування ймовірного джерела запалювання. А також визначають довжину перфорованого трубопроводу L .

Перфорований трубопровід прокладається в межах виробничого майданчика на нульовій позначці на відстані $l = 0,25 \cdot H_{max}$ від каркаса печі. Величину L можна обчислити за формулою:

$$L = (n + 1) \cdot l + \sum_{i=1}^n a_i,$$

де: n – число сторін печі, що захищається; a_i – довжина i -тої сторони, що захищається, [м].

3. Визначають діаметр випускного отвору в трубопроводі безперервної відбивної завіси:

$$d_n = 0,001 \cdot H.$$

4. Визначають відстань між осями випускних отворів:

$$l_n = 50 \cdot d_n.$$

5. Визначають кількість отворів у перфорованому трубопроводі:

$$n_H = \frac{L}{l_H} + 1$$

6. Визначають загальну витрату водяної пари в [кг/с] на створення безперервної відбивної завіси:

$$Q_n = 78,5 \cdot d_n^2 \cdot n_n.$$

7. Визначають внутрішній діаметр труби перфорованого паропроводу безперервної відбивної завіси:

$$d_{en} = 1,772 \cdot \sqrt{d_n^2 \cdot n_H}.$$

За табл. 22 додатків підбирають труби для виготовлення перфорованого паропроводу, внутрішній діаметр d_{en} яких визначають з урахуванням розрахункової товщини стінок труб.

8. З робочих креслень печі виявляють види зон k , які захищають піч, їх кількість n , а також їх характерні розміри A_i .

9. Визначають відстань від випускного отвору локальної завіси до центру небезпечної зони (запальника, вибухового клапана, люка-лазу тощо):

$$x_i = 2 \cdot A_i,$$

де A_i – характерний розмір (діаметр, довжина, ширина) i -ої зони, яка захищається, м.

10. Визначають діаметр випускного отвору для кожної i -ої локальної зони: $d_{ni} = 0,01 \cdot x_i$.

11. Визначають загальні витрати водяної пари на створення локальних флегматизуючих завіс для захисту всіх небезпечних зон:

$$Q_n = 78,5 \sum_{i=1}^k d_{ni}^2 \cdot n_i,$$

де: n_i – кількість захисних зон одного виду; k – число видів захисних зон.

12. Порівнюють знайдені величини Q_n і Q_L . Якщо $Q_L \geq Q_n$, то локальну флегматизуючу завісу не слід застосовувати. У протилежному випадку ($Q_n > Q_L$) локальна завіса буде більш економічною порівняно з безперервною відбивною завісою.

13. Приймають діаметр підвідного трубопроводу, рівний d_{en} і проводять його трасування від паропровідної мережі підприємства до розподільчого колектора системи парового захисту.

14. Визначають середню швидкість руху водяної пари по підвідному трубопроводу:

$$\omega = \frac{Q}{0,785 \cdot d_{en}^2 \cdot \rho_{ср}},$$

де: Q – загальна витрата водяної пари на створення безперервної відбивної завіси Q_H або локальної флегматизуючої завіси Q_L [кг/с]; $\rho_{\text{тсп}}$ – густина насиченої водяної пари при середньому тиску її в паропровідній мережі підприємства і розподільчому колекторі.

$$P_{\text{cp}} = \frac{P_n}{2} + 1 \cdot 10^5,$$

де: $P_{\text{п}}$ – тиск пари в паропровідній мережі підприємства, [Па].

Значення величини $\rho_{\text{тсп}} = f(P_{\text{cp}})$ приймається за табл.9 додатків.

15. Перевіряють виконання умови $\omega < 50$ м/с. У випадку, якщо дана умова виконується, розрахунок продовжують далі, починаючи з п.16. В протилежному випадку ($\omega \geq 50$ м/с) задаються новим, збільшеним внутрішнім діаметром паропроводу і повторюють розрахунки, починаючи з п.14.

16. Визначають число Рейнольда:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}}}{\nu},$$

де: ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості водяної пари [м²/с], що приймається за довідковими даними (табл.9 додатків).

17. Залежно від величини числа Re визначають коефіцієнт опору тертя λ за формулами:

$$\begin{aligned} \text{при } Re \leq 2300 & \quad \lambda = \frac{64}{Re} ; \\ \text{при } 2320 < Re \leq 10000 & \quad \lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} ; \\ \text{при } Re > 10000 & \quad \lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \end{aligned}$$

де: d – внутрішній діаметр трубопроводу, [м]; Δ – абсолютна шорсткість

стінок труб, [м]; $Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_t}{\mu}$ – число Рейнольдса; ω – швидкість руху

продукту в трубопроводі, [м/с]; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості продукту при робочій температурі (див. табл. 7 та 9 додатків), [Па·с]; d – діаметр трубопроводу, [м]; ρ_t – густина продукту при робочій температурі, [кг/м³].

В розрахунках приймають такі значення величини Δ [м]:

- для нових сталевих суцільнотягнутих і зварних, а також оцинкованих труб $\Delta = (0,1 - 0,2) \cdot 10^{-3}$;
- для нових чавунних труб $\Delta = 0,3 \cdot 10^{-3}$;
- для суцільнотягнутих і зварних сталевих труб з незначною корозією $\Delta = (0,2 - 0,3) \cdot 10^{-3}$;
- для старих сталевих труб, які піддалися значній корозії,
 $\Delta = 0,7 \cdot 10^{-3}$ і вище;
- для старих чавунних труб $\Delta = 0,4 \cdot 10^{-3}$ і вище.

18. Визначають кількість, види місцевих опорів, за довідковими даними (табл. 18 додатків), знаходять значення місцевих опорів і визначають сумарний коефіцієнт місцевих опорів:

$$\zeta_c = \sum_{i=1}^n N \cdot \zeta_i ;$$

де: N – кількість місцевих опорів одного типу; ζ – числове значення i -го коефіцієнта; n – число видів місцевих опорів.

19. Визначають коефіцієнт опорів паропроводу:

$$\zeta_{\text{сист}} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} \sum_{i=1}^n l_i ,$$

де: l_i – довжина i -ої лінійної ділянки трубопроводу, [м] ; n – число лінійних ділянок.

20. Визначають втрати тиску в підвідному паропроводі ΔP :

$$\Delta P = \zeta_{\text{сист}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_{\text{теп}}}{2} .$$

21. Визначають допустимі втрати тиску в підвідному трубопроводі [ΔP]:

$$[\Delta P] = P_n - P_k$$

22. Порівнюють фактичні втрати тиску в трубопроводі з допустимими. При $\Delta P < [\Delta P]$ розрахунки завершені. В іншому випадку ($\Delta P \geq [\Delta P]$) необхідно:

- 1) задатися новим, збільшеним діаметром паропроводу;
- 2) виконати трасування паропроводу з меншою кількістю місцевих опорів або під'єднати розподільчий колектор паропровідної мережі підприємства з більшим тиском пари P_n і повторити розрахунки, починаючи з п. 14.

23. Результати розрахунків зовнішньої парової завіси (технічна характеристика):

- тиск пари в колекторі P_n , [Па];
- швидкість витікання водяної пари через отвір ω_n , [м/с];
- питома витрата пари q_n , [кг/м²с];

для безперервної відбивної завіси:

- висота зони, що захищається, H , м
- кількість ярусів;
- довжина перфорованого трубопроводу L , [м];
- діаметр випускних отворів d_n , [м];
- кількість отворів n_n ;
- відстань між отворами l_n , [м];
- загальна витрата пари Q_n , [кг/с];

для локальних завіс:

- види небезпечних зон та їх характерні розміри A_i , [м];
- відстань від випускних отворів до центрів небезпечних зон x_i , [м];
- діаметр випускних отворів $d_{\text{лі}}$, [м];
- витрати пари $Q_{\text{л}}$, [кг/с];

- діаметр підвідного паропроводу $d_{\text{вн}}$, [м];
- тиск пари в мережі підприємства $P_{\text{п}}$, [Па];
- втрати тиску в підвідному паропроводі ΔP , [Па].

3. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ АВАРІЙНОГО ЗЛИВУ РІДИН

Для обмеження розвитку пожежі на виробництві застосовують аварійний злив вогненебезпечних рідин із апаратів, що знаходяться у небезпечній зоні. Аварійний злив здійснюється самопливом або шляхом витискування рідин із апаратів стиснутим інертним газом. Основним розрахунковим параметром системи аварійного зливу є тривалість спорожнення апаратів від пожежонебезпечної рідини. Методику визначення тривалості спорожнення апаратів, розташованих на одній висотній позначці, наведено нижче.

1. Визначають об'єм рідини, що зливається з апаратів:

$$V_{\text{р}} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \varepsilon_i,$$

де: V_i – геометричний об'єм i -го спорожненого апарата, [м³]; ε_i – ступінь заповнення i -го апарата; n – число апаратів, які одночасно спорожнюються.

2. Проводять трасування аварійного трубопроводу від спорожнених апаратів до аварійної ємності, визначають довжину лінійних ділянок (вертикальних, горизонтальних, похилих), кількість і види місцевих опорів. Значення коефіцієнтів місцевих опорів знаходять за довідковим даним (див. табл.18 додатків).

3. Визначають сумарний коефіцієнт місцевих опорів:

$$\zeta_c = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \zeta_i,$$

де: N_i – кількість місцевих опорів одного виду; ζ_i – чисельне значення i -го коефіцієнта; n – число видів місцевих опорів.

4. Визначають відстані (по вертикалі) від рівня рідини в апараті, що спорожнюється, на початку зливу до вихідного перерізу аварійного трубопроводу в аварійному апараті H_1 і від випускного отвору апарата до вихідного перерізу аварійного трубопроводу в аварійному апараті H_2 .

5. Визначають максимально допустиму тривалість аварійного спорожнення апарата:

$$\tau_{\text{спор.м.}} = [\tau]_{\text{зл}} - \tau_{\text{опер.}}$$

де: $\tau_{\text{спор.м.}}$ – максимально допустима тривалість аварійного спорожнення апарату, [с];

$[\tau]_{\text{зл}}$ – допустима тривалість аварійного режиму, [с]; обґрунтовується розрахунком, виходячи з вогнестійкості будівельних конструкцій та

обладнання, тривалості горіння рідин або середнього часу виклику пожежних підрозділів; у більшості випадків приймають $[\tau]_{зл} < 900$ [с];

τ_{oper} – тривалість операцій із приведення системи в дію, яка на діючому виробництві складається із часу виявлення аварійної ситуації $\tau_{вияв.п.}$, прийняття рішення $\tau_{п.р.}$, продування (за необхідності) системи інертним газом $\tau_{пр}$ та відкривання привідних засувок $\tau_{н.з.}$:

$$\tau_{oper} = \tau_{вияв.п.} + \tau_{п.р.} + \tau_{пр} + \tau_{н.з.}$$

При проектуванні системи аварійного зливу, як правило приймають: при ручному пуску системи в дії $\tau_{oper.p} = 300$ с і при автоматичному пуску $\tau_{oper.a} = 120$ с.

6. Подальші розрахунки проводять з використанням методу послідовних наближень, для чого оцінюють коефіцієнт витрат системи аварійного зливу:

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1 + 3 \cdot \zeta_c}}$$

7. Визначають діаметр трубопроводу d_{mp} :

$$d_{mp} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_p}{\tau_{спор.м.} \cdot \varphi_{сист} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}}$$

8. За довідковими даними (див. табл. 2 додатків) підбирають труби для влаштування лінійної частини системи аварійного зливу, товщину стінок яких визначають з урахуванням тиску рідини в них або тиску продувального газу за методикою, викладеною в р.1.4 (п.7 і 11). Внутрішній діаметр труб приймають не менше 100 мм.

Визначають площу прохідного перерізу труб системи аварійного зливу і вихідного патрубку апарата:

$$f_{mp} = f_{вих} = 0,785 \cdot d_{вн}^2,$$

де: $d_{вн}$ – внутрішній діаметр трубопроводу, [м].

9. Визначають середню швидкість руху рідини по аварійному трубопроводу при зливі:

$$\omega = 2,22 \cdot \varphi_{сист} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}).$$

10. Знаходять густину рідини ρ_t [кг/м³], яка зливається з апарата при робочій температурі (див. табл. 4 додатків), та її в'язкість μ_t [Па·с] (див. табл. 11 додатків).

11. Визначають значення критерію Рейнольдса :

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{вн} \cdot \rho_t}{\mu_t}.$$

12. В залежності від величини числа Re визначають коефіцієнти опору тертя лінійних ділянок трубопроводу λ за формулами:

$$\begin{aligned} \text{при } Re \leq 2300 \quad \text{при } Re \leq 2300 \quad \lambda &= \frac{64}{Re} ; \\ \text{при } 2320 < Re \leq 10000 \quad \lambda &= \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} ; \\ \text{при } Re > 10000 \quad \lambda &= 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} , \end{aligned}$$

де: d – внутрішній діаметр трубопроводу, [м]; Δ – абсолютна шорсткість стінок труб, [м];

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_t}{\mu} \quad \text{– число Рейнольдса;}$$

ω – швидкість руху продукту в трубопроводі, [м/с]; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості продукту при робочій температурі (див. табл. 7 та 9 додатків), [Па·с]; d – діаметр трубопроводу, [м]; ρ_t – густина продукту при робочій температурі, [кг/м³].

В розрахунках приймають такі значення величини Δ [м]:

- для нових сталевих суцільнотягнутих і зварних, а також оцинкованих труб $\Delta = (0,1 - 0,2) \cdot 10^{-3}$;
- для нових чавунних труб $\Delta = 0,3 \cdot 10^{-3}$;
- для суцільнотягнутих і зварних сталевих труб з незначною корозією $\Delta = (0,2 - 0,3) \cdot 10^{-3}$;
- для старих сталевих труб, які піддалися значній корозії, $\Delta = 0,7 \cdot 10^{-3}$ і вище;
- для старих чавунних труб $\Delta = 0,4 \cdot 10^{-3}$ і вище.

13. Визначають коефіцієнт опору системи:

$$\zeta_{сист} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} \cdot \sum_{i=1}^n l_i ,$$

де: l_i – довжина i -ї лінійної ділянки трубопроводу, [м]; n – число лінійних ділянок.

14. Визначають уточнене значення коефіцієнта витрат системи:

$$\varphi_{сист}^* = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{сист}}} .$$

15. Визначають похибку при оцінці коефіцієнта витрат системи:

$$\delta\varphi = \frac{|\varphi_{сист}^* - \varphi_{сист}|}{\varphi_{сист}} \cdot 100\% .$$

Якщо помилка не перевищує 5%, вважають значення $\varphi_{сист}^*$ істинним і продовжують розрахунки, починаючи з п. 16. Якщо $\delta\varphi \geq 5\%$, то задаються новим значенням коефіцієнта витрат системи:

$$\varphi_{сист}^{**} = 0,5(\varphi_{сист}^* + \varphi_{сист}),$$

і повторюють всі розрахунки з п. 7 до тих пір, поки похибка не стане меншою за 5%.

16. Визначають тривалість спорожнення апарата. Для апарата постійного за висотою перерізу (вертикальний циліндричний апарат, апарат з квадратною або прямокутною опорою і паралельними стінками тощо):

$$\tau_{спор} = \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\varphi_{сист} \cdot f_{вих}},$$

де: F – площа поперечного перерізу апарата, [м²].

17. Перевіряють умови виконання аварійного зливу.

При $\tau_{спор} + \tau_{опер} < [\tau]_{зл}$ розрахунок системи аварійного зливу вважають закінченим.

Якщо ця умова не виконується, необхідно здійснити такі заходи (один або декілька):

- замість ручного приведення системи аварійного зливу в дію забезпечити автоматичний привод (провести перевірочний розрахунок системи, починаючи з п. 5);
- збільшити діаметр аварійного трубопроводу (провести перевірочний розрахунок системи, починаючи з п. 11);
- підібрати оптимальний варіант розміщення аварійного апарата, забезпечивши мінімальну довжину лінійної частини трубопроводу при мінімумі місцевих опорів (провести перевірочний розрахунок системи, починаючи з п. 13);
- запропонувати аварійний злив шляхом витискання рідини (провести перевірочний розрахунок системи починаючи з п. 4). В цьому випадку величини H_1 і H_2 визначають таким чином:

$$H_1 = \frac{P_{р.н.}}{\rho_t \cdot g} \quad \text{і} \quad H_2 = \frac{P_{р.к.}}{\rho_t \cdot g},$$

де: $P_{р.н.}$ і $P_{р.к.}$ – надлишковий тиск інертного газу відповідно на початку і в кінці спорожнення апарата, [Па]; тиск інертного газу не повинен перевищувати допустимого за умовами міцності тиску в апараті і трубопроводі; $g=9,81$ м/с² – прискорення сили тяжіння.

18. Визначають об'єм аварійного апарата:

$$V_a = V_p / \varepsilon,$$

де: ε – ступінь заповнення аварійного апарата рідиною; приймають $\varepsilon=0,8$ для ЛЗР і $\varepsilon=0,9$ для ГР.

19. Результати розрахунку системи аварійного зливу (технічна характеристика):

- пожежонебезпечна рідина;
- спосіб спорожнення апарата від пожежонебезпечної рідини (вільним самопливом або під тиском інертного газу);
- робочий тиск в апараті P_p , [Па];
- об'єм рідини, що зливається V_p , [м³];
- допустима тривалість аварійного режиму $[\tau]_{зл}$, [с];
- привод системи аварійного зливу (ручний або автоматичний);
- діаметр аварійного трубопроводу $d_{вн}$, [мм];
- час спорожнення апарата $\tau_{вин}$, [с];
- об'єм аварійного апарата V_a , [м³].

4. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗАПОБІЖНОГО КЛАПАНА

Запобіжні клапани – це пристрої, що спрацювують автоматично, та призначені для випуску із апаратів продуктів, що в них знаходяться (газів, пари, рідини), при перевищенні тиску вище встановлених меж. Розрізняють такі види запобіжних клапанів: вантажні, важільні, пружинні та комбіновані. Основними розрахунковими параметрами запобіжного клапана є тиск спрацювання та пропускна здатність клапана. Скидання парогазового середовища у разі спрацювання запобіжних клапанів може здійснюватись в атмосферу або в спеціальну закриту систему. В останньому випадку усувається небезпека загазованості території технологічних установок, дія отруйних та шкідливих речовин на довкілля та людей.

Нижче наводиться методика перевірного розрахунку пружинного запобіжного клапана із скиданням парогазового середовища в спеціальну закриту систему.

1. Приймають надлишковий тиск спрацювання запобіжного клапана за відомим надлишковим тиском в апараті:

Робочий (надлишковий) тиск $P_{р.н.}$, МПа	Тиск спрацювання (надлишковий) $P_{спр.н.}$, МПа
Менше 0,3	$P_{р.н.} + 0,05$
$0,3 \leq P_{р.н.} < 6$	$1,15 \cdot P_{р.н.}$
6 та більше	$1,1 \cdot P_{р.н.}$

де: $P_{р.н.} = P_p - 0,1$ [МПа] та $P_{спр.н.} = P_{спр} - 0,1$ [МПа]; P_p – робочий (абсолютний) тиск в апараті; $P_{спр}$ – абсолютний тиск спрацювання апарата, [МПа].

2. За довідковими даними (табл.1 додатків) знаходять молекулярну масу продукту в апараті, а якщо необхідно, визначають молекулярну масу M парогазового середовища в апараті за формулою, яка наведена у табл. 3 додатків.

3. Визначають густину середовища в апараті при тиску спрацювання запобіжного клапана та робочій температурі:

$$\rho_t = 120,27 \cdot \frac{M \cdot P_{cp}}{t_p + 273},$$

де: ρ_t – густина парогазового середовища в апараті, [кг/м³]; t_p – робоча температура середовища в апараті, [°C]; P_{cpr} – абсолютний тиск спрацювання клапана, [МПа].

4. Подальші розрахунки проводять з використанням методу послідовних наближень, для чого задаються тиском на вході у відповідний трубопровід $P_{вх}$ (на виході – з відповідного патрубка запобіжного клапана). Приймають:

$$P_{вх} = P_c,$$

де: P_c – абсолютний тиск середовища в закритій системі, куди скидається парогазове середовище, [МПа].

5. Визначають співвідношення:

$$P_{вх.н} / P_{cpr.н},$$

де: $P_{вх.н} = P_{вх} - 0,1$ [МПа] – надлишковий тиск середовища у відповідному трубопроводі, [МПа].

6. За довідковими даними (табл.5 додатків) знаходять показник адіабати k середовища, яке виходить через запобіжний клапан з апарата, і обчислюють коефіцієнт B (табл. дод.):

$$B = f(P_{вх.н} / P_{cpr.н}; k).$$

7. Визначають необхідну площу прохідного перерізу запобіжного клапана при максимальній продуктивності апарата за паро-газовим середовищем (або припливом в апарат середовища) під час аварійної ситуації:

$$F = \frac{7,142 \cdot 10^{-4} \cdot G_{max}}{\varphi \cdot B \cdot \sqrt{(P_{cp} - P_{ex})} \cdot \rho_t},$$

де: F – площа прохідного перерізу клапана, [м²]; G_{max} – максимальна продуктивність апарата за парогазовим середовищем, [кг/с]; φ – коефіцієнт витрати середовища через клапан (величина φ приводиться в паспорті клапана і для повнопідйомних клапанів типу ППС та СППК становить в середньому 0,16 – 0,17).

8. Порівнюють знайдену площу прохідного перерізу F з фактичною площею прохідного перерізу F_k запобіжного клапана, встановленого на апараті, яку визначають за формулою:

$$F_k = 0,785 \cdot d_c^2,$$

де: d_c – діаметр сопла запобіжного клапана, [м]. Чисельні значення діаметрів сопел і відповідні їм внутрішні діаметри наведені в таблиці.

Діаметр сопла, м	0,012	0,03	0,04	0,05	0,072
Діаметр відвідного патрубка, м	0,032	0,08	0,1	0,125	0,2

Якщо $F > F_k$, то необхідно встановлювати запобіжний клапан більшої пропускної здатності (з більшим діаметром сопла d_c , і, відповідно, з більшою

площею прохідного перерізу клапана F_k , яку вибирають з наведеної вище таблиці; за необхідності пропонують встановлення двох та більше клапанів).

Якщо $F \leq F_k$, то розрахунки продовжують, починаючи з п.9.

9. Визначають площу перерізу відвідного трубопроводу:

$$F_{від} = \pi \cdot d_{від}^2 / 4,$$

де: $d_{від}$ – внутрішній діаметр відвідного трубопроводу, [м]; (діаметр відвідного трубопроводу повинен бути не меншим від діаметра відвідного патрубка запобіжного клапана).

10. Визначають густину середовища на виході з відвідного трубопроводу (в закритій системі):

$$\rho_{від} = 120,27 \cdot \frac{M \cdot P_{ex}}{t_p + 273} \dots$$

11. Визначають критичну швидкість витікання парогазового середовища:

$$\omega_{кр} = 128,95 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot (t_p + 273)}{(k + 1) \cdot M}}.$$

12. Визначають швидкісний коефіцієнт на виході з відвідного трубопроводу:

$$\lambda_{вих} = \frac{G_{вих}}{\rho_{від} \cdot F_{від} \cdot \omega_{кр}}.$$

13. Визначають кількість і вид місцевих опорів на відвідному трубопроводі, за довідковими даними (табл.17 додатків) знаходять значення коефіцієнтів місцевих опорів.

14. Визначають сумарний коефіцієнт місцевих опорів:

$$\zeta_c = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \zeta_i,$$

де: N_i – кількість місцевих опорів одного типу; ζ_i – чисельне значення і-го коефіцієнта; n – число видів опорів.

15. Визначають коефіцієнт опору тертя лінійних частин трубопроводу:

$$\lambda = 0,0132 \cdot d_{від}^{-0,25}.$$

16. Визначають коефіцієнт опору системи:

$$\zeta_{сум} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{від}} \cdot \sum_{i=1}^n l_i,$$

де: l_i – довжина і-ої лінійної ділянки відвідного трубопроводу, [м]; n – число лінійних ділянок.

17. Визначають параметр:

$$L = \frac{2 \cdot k}{k + 1} \cdot \zeta_{сум}.$$

18. З діаграми, наведеної на рис.2 додатків, знаходять значення швидкісного коефіцієнта на вході парогазового середовища у відвідний трубопровід:

$$\lambda_{вх} = f(L; \lambda_{вх}).$$

19. Визначають швидкість пароповітряного середовища на виході з запобіжного клапана:

$$\omega_{ex} = \lambda_{ex} \cdot \omega_{кр}.$$

20. Визначають падіння тиску у відвідному трубопроводі:

$$\Delta P = P_{ex} \cdot \left(\frac{G_{max}}{\rho_{від} \cdot F_{від} \cdot \omega_{ex}} - 1 \right).$$

21. Визначають уточнене значення тиску на виході у відвідний трубопровід:

$$P_{вх}^* = P_{вх} + \Delta P.$$

22. Порівнюють уточнене значення тиску на виході у відвідний трубопровід $P_{вх}^*$ з прийнятим раніше значенням $P_{вх}$. Якщо $P_{вх}^*$ значно відрізняється від прийнятого раніше $P_{вх}$ ($P_{вх}^* > 1,05 P_{вх}$ або $P_{вх}^* < 0,95 P_{вх}$), то пропускну здатність клапана слід перерахувати, прийнявши $P_{вх} = P_{вх}^*$ (розрахунки повторюють, починаючи з п.4). Якщо $P_{вх}^*$ не значно відрізняється від прийнятого раніше значення $P_{вх}$ ($0,95 P_{вх} \leq P_{вх}^* \leq 1,05 P_{вх}$), то величину $P_{вх}$ вважають істинною.

23. Уточнюють значення коефіцієнта V^* :

$$V^* = f(P_{вх}^* / P_{спр}; k).$$

24. Перевіряють пропускну здатність запобіжного клапана G_k :

$$G_k = 1400 \cdot \varphi \cdot F \cdot V^* \cdot \sqrt{(P_{спр} - P_{ex}^*) \cdot \rho_t}.$$

25. Порівнюють знайдене значення пропускну здатності клапана G_k з максимальною продуктивністю апарата за парогазовим середовищем при аварійній ситуації G_{max} .

При $G_k \geq G_{max}$ розрахунки завершують. При $G_k < G_{max}$ необхідно:

- вставити запобіжний клапан з більшим діаметром сопла та, відповідно, з більшим діаметром відвідного патрубку $d_{від}$ і трубопроводу і повторити розрахунки, починаючи з п.8;
- зменшити гідравлічний опір відвідного трубопроводу (зменшити його довжину, збільшити діаметр або зменшити кількість місцевих опорів). У даному випадку розрахунки повторюють, починаючи з п.13.

26. Результати перевірного розрахунку запобіжного клапана (технічна характеристика):

- середовище в апараті;
- робочий (абсолютний) тиск, P_p , Па;
- робоча температура, t_p , °C;
- тиск (абсолютний) спрацювання клапана, $P_{спр}$, МПа;
- тиск (абсолютний) в закритій системі, P_c , МПа;
- тип запобіжного клапана;
- пропускну здатність запобіжного клапана G_k , кг/с;
- площа прохідного перерізу клапана F_k , м²;
- діаметр відвідного трубопроводу $d_{від}$, м;
- коефіцієнт опору системи $\zeta_{сист}$;
- падіння тиску у відвідному трубопроводі ΔP , МПа.

5. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЗАПОБІЖНОЇ МЕМБРАНИ

Запобіжні мембрани використовуються для захисту апаратів від руйнування при швидкому (вибуховому) підвищенні тиску. Залежно від характеру руйнування запобіжні мембрани поділяють на розривні, відривні, зрізні, ламкі та спеціальні. Основними розрахунковими параметрами запобіжних пристроїв є площа прохідного перерізу скидного отвору апарата і товщина мембрани.

Методика розрахунку запобіжної мембрани розривного типу для захисту апарата від руйнування при вибуху ГС.

1. За технологічним регламентом або розрахунково-пояснювальною запискою до технологічної частини проекту знаходять склад горючої суміші, яка знаходиться в апараті. За відсутності таких даних вважають, що в апараті утворюється горюча суміш стехіометричного складу, концентрацію компонентів в якій визначають відповідно до розд. 2.1, п.1.

2. Визначають молекулярну масу компонентів горючої суміші M_i за довідковими даними (табл.1, додатків) і молекулярну масу M горючої суміші за формулою з табл. 3 додатків.

При концентрації горючої речовини у вихідній суміші менше 5% об., приймають $M=28,96$ кг/кмоль (молекулярна маса повітря).

3. За довідковими даними знаходять нормальну швидкість поширення полум'я U_H м/с, показник адіабати k повітря (табл.5 додатків).

4. Приймають максимально допустимий тиск в апараті P , при якому повинна спрацювати (зруйнуватись) мембрана за таблицею:

Робочий (надлишковий) тиск P_p , [МПа]	Тиск спрацьовування P , [МПа]
$P = P_{\text{бар}} (V_v < 30 \text{ м}^3)$	$P = 0,11$
$P_p = P_{\text{бар}} (V_v \geq 30 \text{ м}^3)$	$P = 0,105$
$P_{\text{бар}} < P_p < 0,17$	$P = P_p + 0,03$
$P_p \geq 0,17$	$P = 1,25 \cdot P_p$

де: $V_{\text{св}}$ – вільний об'єм апарата, [м^3]; $P_{\text{бар}} = 0,1$ МПа – атмосферний тиск.

5. Визначають максимальну поверхню фронту полум'я для апарата циліндричної форми:

$$F_{nl} = K_{\phi} \cdot \pi \cdot D^2 \quad \text{при} \quad D \leq H,$$

$$F_{nl} = K_{\phi} \cdot \pi \cdot H^2 \quad \text{при} \quad D > H,$$

де: D – діаметр апарата, [м]; H – висота апарата, [м];

Для апарата прямокутної форми: $F_{nl} = K_{\phi} \cdot \pi \cdot A \cdot B$ при $A \leq B \leq C$,

де: A, B, C – розміри сторін апарата, [м]; K_{ϕ} – коефіцієнт скривлення фронту полум'я; $K_{\phi} = 1,5 - 2$ – для апаратів з вільним внутрішнім простором із спокійним станом середовища; $K_{\phi} = 2 - 2,5$ – для проточних апаратів або за наявності в них лопаток, ребер та інших подібних пристроїв; $K_{\phi} = 5 - 10$ – зі штучною інтенсивною турбулізацією середовища за допомогою вбудованого вентилятора або тангенціального вводу газу.

6. За довідковими даними (табл.23 додатків) знаходять максимальний тиск вибуху горючої суміші заданого складу P_{\max} в МПа і визначають ступінь підвищення тиску при вибуху в замкненому середовищі:

$$\mu = P_{\max} / P_{\text{бар}}$$

де: $P_{\text{бар}} = 0,1$ МПа.

7. Визначають максимальну витрату газу через скидний отвір при вибуху середовища в апараті:

$$G = F_{nl} \cdot U_n \cdot \frac{\mu - 1}{k} \cdot \left(\frac{P}{P_p} \right)^{\frac{2-k}{k}}$$

8. Визначають відносний перепад тиску на скидному отворі і режим витоку газів при вибуху середовища в апараті через нього після руйнування мембрани:

$$v = P_o / P,$$

де: P_o – максимальний (абсолютний) тиск в скидному трубопроводі, [МПа].

При скиданні продуктів вибуху в атмосферу $P_o = P_{\text{роб}}$; при скиданні продуктів вибуху в закриту систему враховують вплив опору скидного трубопроводу за методикою, приведеною в розділі 2.4, п.10–22.

Приймають при $v > 0,528$ докритичний режим витікання середовища з апарата крізь скидний отвір, а при $v \leq 0,528$ – критичний режим витікання.

9. Визначають площу скидних отворів F_k [м²]:

для докритичного режиму витікання:

$$F_k = \frac{F_{nl} \cdot U_n \cdot (\mu - 1)}{\varphi \cdot k \cdot \left(\frac{P}{P_p} \right)^{\frac{3(k-1)}{2k}} \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot (t_p + 273)}{M} \cdot \left(v^{\frac{2}{k}} - v^{\frac{k+1}{k}} \right)} \cdot \frac{k}{k-1}};$$

для критичного режиму витікання:

$$F_k = \frac{F_{nl} \cdot U_n \cdot (\mu - 1)}{\varphi \cdot k \cdot \left(\frac{P}{P_p} \right)^{\frac{3(k-1)}{2k}} \sqrt{\frac{k \cdot R \cdot (t_p + 273)}{M} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}};$$

де: φ – коефіцієнт витрати, для отворів круглої форми дорівнює 0,7–0,8;

$R = 8314,31$ Дж/кмоль К – універсальна газова стала; t_p – робоча температура середовища в апараті до вибуху, [°C].

10. Визначають діаметр скидних отворів d :

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_k}{\pi \cdot n}},$$

де: n – число однотипних мембранних пристроїв на апараті.

Знайдений діаметр скидного отвору округлюють до найбільшого значення умовного переходу d_y мембранного пристрою.

Стандартний ряд умовних проходів мембранних пристроїв: 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500 мм.

При діаметрі скидного отвору $d > 500$ мм необхідне встановлення на апараті двох або більше мембранних пристроїв.

11. Вибирають тип мембрани. За довідковими даними (табл. 22 додатків) з врахуванням робочої температури вибирають матеріал мембрани та знаходять його механічні властивості:

- межа міцності σ_v , [МПа];
- відносне видовження δ ;
- показник повзучості λ , [1/год].

12. За довідковими даними (табл. 20 додатків) знаходять температурний коефіцієнт K_t .

13. Визначають товщину розривної мембрани:

$$\Delta = \frac{P \cdot d_y}{8 \cdot \delta_a \cdot K_t} \cdot \sqrt{\frac{1 + \delta}{\sqrt{1 + \delta} - 1}},$$

Знайдену товщину розривної мембрани округлюють до найближчого найменшого значення товщини металопрокату (фольги), що випускається.

Стандартний ряд товщин металопрокату (фольги) Δ_ϕ : 0,005–0,012 (крок 0,001); 0,014–0,02 (крок 0,002); 0,025–0,1 (крок 0,005); 0,11–0,25 (крок 0,01); 0,3–1,0 (крок 0,05); 1,1–2 (крок 0,1) мм.

14. Визначають термін служби розривної мембрани, років:

$$\tau = \frac{\left(1 - \frac{P_p}{P}\right)^2}{2 \left(\frac{c}{\Delta_\phi} + \lambda\right)} \cdot \left(1 - 0,85 \cdot \frac{t_p - 20}{t_m - 20}\right),$$

де: c – швидкість корозії металу мембрани в робочому середовищі, [м/рік];
 t_m – гранична допустима температура, [°C.]

15. Результати розрахунку розривної мембрани (технічна характеристика):

- горюче середовище в апараті (горюча речовина, окисник, їх концентрація ϕ_r і $\phi_{ок}$ [об.частки]);
- основні розміри апарата (довжина, ширина та висота для прямокутного апарата або висота і діаметр для циліндричного), [м];
- вільний об'єм V_v , [м³];
- робочі параметри: температура t_p , [°C]; тиск P_p , [МПа];
- тиск спрацювання мембрани P , [МПа];
- площа скидних отворів F_k , [м²];
- діаметр мембрани (скидного отвору) d_y , [м];
- кількість мембран на апараті, [n];
- матеріал мембрани;
- товщина металопрокату (фольги) Δ_ϕ , [м];
- термін служби мембрани τ , років.

2.3. ЗАХИСТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТІВ ВІД РОЗТІКАННЯ ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ, ГОРЮЧИХ РІДИН ТА СКРАПЛЕНИХ ГАЗІВ

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Характер розтікання рідини при аваріях апаратів і трубопроводів та площа, на яку розливається рідина, залежать від багатьох чинників: кількості рідини, її в'язкості, температури рідини і середовища, інтенсивності виливання рідини, висоти падіння струменя, наявності нахилу майданчика, стану поверхні тощо.

Для обмеження вільного розтікання легкозаймистих та горючих рідин, скраплених газів при пошкодженнях і аваріях апаратів влаштовують обвалування, стінки, бортики, пороги, лотки.

Якщо виробниче приміщення чи відкрита установка мають значну площу і на ній рівномірно розташовується технологічне обладнання з горючими та легкозаймистими рідинами, поділ виробничої площі бортиками на протипожежні відсіки обмежує аварійний розлив рідини і розмір можливої площі горіння.

Щоб розлита рідина не проникала з виробничих приміщень назовні чи в сусідні приміщення влаштовують пороги з пандусами. Аварійний розлив горючих рідин територією виробничого приміщення може бути обмежений влаштуванням лотків, жолобів, канав, додаткових насипів та інших споруд, які розташовують з урахуванням рельєфу місцевості і аварійної ситуації.

Обвалуванням оточують окремо розташовані резервуари та групи резервуарів для легкозаймистих, горючих рідин, скраплених газів, електродегідраторів, відстійників та інших апаратів ємнісного типу. Його влаштовують у вигляді земляного насипу з розрахунковою висотою і шириною чи як суцільну стінку з негорючих матеріалів.

1. Висота обвалування для резервуарів та груп резервуарів із легкозаймистими та горючими рідинами визначається згідно з ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа». Обвалування повинно бути такої висоти, щоб воно вмещало об'єм рідини, яка знаходиться у найбільшому резервуарі і перевищувало рівень розлитої рідини на 0,2 м, тобто:

$$h_{\text{обв.}} = \frac{V_{\text{max}}}{a \cdot b - \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}} + 0,2, \quad (7.1)$$

де: V_{max} – фактична місткість найбільшого резервуара, [м³]; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, [м]; d – діаметр резервуара, [м]; n – кількість резервуарів.

Земляне обвалування у верхній частині повинно бути не менше 0,5 м завширшки.

В межах однієї групи дозволяється зберігання легкозаймистих і горючих рідин. Загальну місткість групи наземних резервуарів залежно від типу і номінального об'єму резервуарів, які в ній розміщуються, виду нафти і нафтопродуктів, що зберігаються, а також відстані між стінками резервуарів залежно від діаметра резервуарів, що розташовуються в одній групі, визначають з таблиці 30 додатків.

Між резервуарами різних типів, розмірів і об'ємів слід приймати найбільшу відстань за графою 5 таблиці 30 додатків.

Відстань від стінок резервуарів до підшови внутрішніх схилів обвалування або до огорожувальної стіни приймається залежно від номінального об'єму одиничного резервуара: при номінальному об'ємі одиничних резервуарів в групі до 10000 м³ – не менше 3 м; при номінальному об'ємі одиничних резервуарів в групі більше 10000 м³ – не менше 6 м (таблиця 32 додатків).

Обвалування підземних резервуарів слід передбачати тільки при зберіганні в цих резервуарах нафти і мазутів. Об'єм, що утворюється між внутрішніми схилами обвалування, визначають з умови утримання рідини, що розлилась, в кількості, що дорівнює 10% об'єму найбільшого підземного резервуара в групі.

2. Висота обвалування для груп резервуарів із скрапленим газом визначається згідно з п. 8.50 ДБН В 2.5-20-2001 „Газопостачання”: «Для кожної групи надземних резервуарів за периметром повинно передбачатися замкнуте обвалування чи огорожувальна стінка з негорючих матеріалів (цегли, бутобетону, бетону тощо) висотою не менше 1 м, розраховане на 85% місткості резервуарів в групі» за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{0,85 \cdot V_{гр.факт.}}{a \cdot b}, \quad (7.2)$$

де: $V_{гр.факт.}$ – фактична місткість групи, [м³]; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, м. Ширина земляного валу у верхній частині повинна бути не менша 0,5 м.

Всередині групи відстані між надземними резервуарами повинні бути не менші за діаметр найбільшого із поряд розташованих резервуарів, а при діаметрі резервуарів до 2 м – не менші 2 м. Відстані між рядами наземних резервуарів, які розташовуються у два і більше рядів, приймається рівним довжині найбільшого резервуара, але не менше 10 м. Відстані від резервуарів до обвалування чи обгороджувальної стінки повинні дорівнювати половині діаметра найближчого резервуара, але не менше 1 м.

3. Висота обвалування для груп електродегідраторів із нафтою визначається згідно з п. 6.42 ВУПП-88 «Ведомственных указаний по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности»: «Об'єм,

утворений обвалуванням чи негорючою стіною, повинен бути розрахований на вміст продукту найбільшого електродегідратора, але не менше 1 м» за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{V_{max}}{a \cdot b}, \quad (7.3)$$

де: V_{max} – об'єм найбільшого електродегідратора, [м³]; a, b – довжина та ширина парку електродегідраторів, [м]. Ширина земляного обвалування у верхній частині повинна бути не менше 0,5 м.

На установках знесолення та зневоднення нафти електродегідратори можуть встановлюватися групами загальним об'ємом не більше 2400 м³ в групі.

Відстань між окремими електродегідраторами в групі повинна бути не менша від діаметра найбільшого сусіднього електродегідратора.

Відстань між групами електродегідраторів повинна бути не менша двох діаметрів, але не менша 10 м. Відстань між групами електродегідраторів до будівель установки повинна бути не менша 15 м, рахуючи від стінки найближчого електродегідратора.

Відстань від стінок електродегідратора до внутрішньої підосви обвалування чи основи обгороджувальної стіни повинна бути рівною половині діаметра найближчого електродегідратора, але не менша 1 м.

1. Методика розрахунку висоти обвалування навколо резервуарного парку складів нафти та нафтопродуктів

1) Визначається загальна місткість резервуарів за формулою:

$$V_{заг.} = V_{рез.} \cdot n,$$

де: $V_{рез.}$ – об'єм резервуара, [м³]; n – кількість резервуарів.

2) Визначається допустима загальна номінальна місткість групи $V_{доп.}^{зр.}$ за табл. 24 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа».

3) Визначається кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{зр.}},$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{доп.}^{зр.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³].

4) Зображається план розташування груп резервуарів.

5) Визначається висота обвалування для окремої групи згідно п. 17.1.35 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»: «Для кожної групи наземних резервуарів по периметру необхідно облаштувати замкнуте обвалування або стіну з негорючих матеріалів, розраховані на гідростатичний тиск рідини, що розлилась. Вільний від забудови об'єм обвалованої території, що утворюється між внутрішніми відкосами обвалування або огорожувальної стіни, повинен прийняти розрахунковий об'єм розлитої рідини, що дорівнює одному найбільшому за об'ємом резервуару в групі. При розташуванні тільки одного резервуара на обвалованій території, її вільний об'єм повинен розраховуватись на об'єм цього резервуара. Висота обвалування або огорожувальної стінки кожної групи резервуарів повинна бути на 0,2 м вище рівня розрахункового об'єму рідини, що розлилась». Розрахунок висоти обвалування здійснюється за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{V_{max}}{a \cdot b - \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}} + 0,2,$$

де: V_{max} – фактична місткість найбільшого резервуара, [м³]; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, [м]; d – діаметр резервуара, [м]; n – кількість резервуарів.

Для визначення довжини та ширини резервуарного парку визначаються такі відстані:

- діаметри резервуарів визначаються залежно від номінального об'єму резервуара та його типу за п.17.1.27 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа» (табл.29 додатків).

- відстані від стінок резервуарів до внутрішніх схилів обвалування визначаються залежно від номінального об'єму резервуара за п. 17.1.36 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа» (табл.32 додатків).

- всередині групи відстані між резервуарами визначаються залежно від діаметра за п. 17.1.30 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа» (табл.30 додатків).

б) Розрахована висота обвалування порівнюється із допустимими значеннями, згідно з п. 17.1.36 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа».

7) Визначається відстань між групами резервуарів, згідно з табл. 25 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа».

2. Методика розрахунку висоти обвалування навколо резервуарного парку скраплених вуглеводневих газів

1) Визначається загальна місткість резервуарів за формулою:

$$V_{заг.} = V_{рез.} \cdot n ,$$

де: $V_{рез.}$ – об’єм резервуару, [м³]; n – кількість резервуарів.

2) Визначається максимальна допустима місткість групи $V_{доп.}^{зр.}$ за табл. 15 ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”:

Загальна місткість резервуарів, м ³	Загальна місткість резервуарів в групі, м ³
До 2000	1000
Більше 2000 до 8000	2000

3) Визначається кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{зр.}} ,$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{доп.}^{зр.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³].

4) Зображається план розташування груп резервуарів.

5) Визначається висота обвалування для окремої групи, згідно з п. 8.50 ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”: «Для кожної групи надземних резервуарів за периметром повинно передбачатися замкнуте обвалування чи огорожувальна стінка з негорючих матеріалів (цегли, бутобетону, бетону тощо) висотою не менше 1 м, розраховане на 85 % місткості резервуарів в групі» за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{0,85 \cdot V_{гр.факт.}}{a \cdot b} ,$$

де: $V_{гр.факт.}$ – фактична місткість групи, [м³]; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, [м].

Для визначення довжини та ширини резервуарного парку визначаються такі відстані:

- всередині групи відстань у просвіті між наземним резервуарами (між твірними горизонтальних циліндричних резервуарів) визначається за п.8.49. ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання” «Всередині групи відстані у просвіті

між надземними резервуарами повинні бути не менші за діаметр найбільшого з поряд розташованих резервуарів, а при діаметрі резервуарів до 2 м – не менші 2 м».

- відстань між рядами надземних резервуарів, що розташовуються в два і більше рядів, приймається рівною довжині найбільшого резервуара, але повинна бути не меншою 10 м (п.8.49. ДБН В 2.5-20–2001).

- відстані від резервуарів до підосви обвалування чи огорожувальної стінки повинні дорівнювати половині діаметра найближчого резервуара, але не менше 1 м (п.8.50. ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”).

б) Розрахована висота обвалування, згідно з п. 8.50 ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”, повинна бути не меншою 1 м.

- 7) Визначається відстань між групами резервуарів згідно ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання” залежно від загальної місткості резервуарів в групі (табл.34 додатків).

3. Методика розрахунку висоти обвалування навколо груп електродегідраторів

1) Визначається загальна місткість електродегідраторів за формулою:

$$V_{заг.} = V_{ел.} \cdot n ,$$

де: $V_{ел.}$ – об’єм електродегідратора, [м³]; n – кількість електродегідраторів.

2) Визначається допустима загальна номінальна місткість групи $V_{доп.}^{зр.}$ згідно п. 6.42. «На установках знесолення та зневоднення нафти електродегідратори можуть встановлюватися групами загальним об’ємом не більше 2400 м³ в групі».

3) Визначається кількість груп електродегідраторів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{зр.}} ,$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість електродегідраторів, [м³]; $V_{доп.}^{зр.}$ – максимально допустима місткість групи електродегідраторів, [м³].

4) Зображається план розташування груп електродегідраторів.

5) Визначається висота обвалування для окремої групи згідно з п. 6.42 ВУПП-88 «Ведомственных указаний по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности»: «Об’єм, утворений обвалуванням чи негорючою стіною, повинен бути розрахований

на вміст продукту найбільшого електродегідратора, але не менше 1 м» за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{V_{max}}{a \cdot b},$$

де: V_{max} – об'єм найбільшого електродегідратора, [м³]; a, b – довжина та ширина парку електродегідраторів, [м]. Ширина земляного обвалування у верхній частині повинна бути не менше 0,5 м.

Для визначення довжини та ширини групи електродегідраторів визначаються такі відстані:

- діаметри електродегідраторів (вказано у технічній характеристиці);
- відстань від стінок електродегідратора до внутрішньої підосви обвалування чи основи огорожувальної стіни повинна дорівнювати половині діаметра найближчого електродегідратора, але не менша 1 м;
- відстань між окремими електродегідраторами в групі повинна бути не менша від діаметра найбільшого сусіднього електродегідратора.

б) Розрахована висота обвалування повинна бути не менша 1 м.

7) Визначається відстань між групами електродегідраторів, яка повинна бути не менша двох діаметрів, але не менша 10 м.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 7.1. Склад підприємства містить чотири резервуари зі стаціонарною покрівлею ємністю 5000 м³ для зберігання дизельного палива. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами резервуарів для зберігання дизельного палива.

Розв'язок

1) Визначаємо загальну місткість резервуарів за формулою:

$$V_{заг.} = V_{рез.} \cdot n = 5000 \cdot 4 = 20000 \text{ м}^3,$$

де: $V_{рез.}$ – об'єм резервуара, [м³]; n – кількість резервуарів.

2) Визначаємо допустиму загальну номінальну місткість групи $V_{доп.}^{зр.}$ за табл. 24 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»:

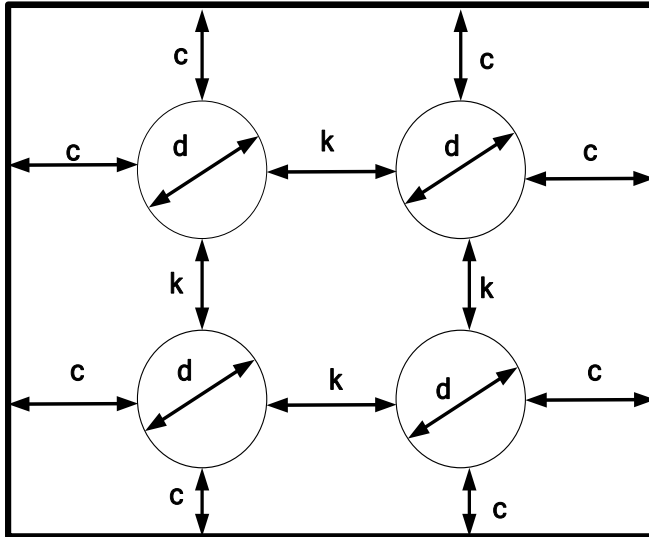
$$V_{доп.}^{зр.} = 80000 \text{ м}^3.$$

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{zp.}} = \frac{20000}{80000} = 0,25 \approx 1 \text{ група}$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{доп.}^{zp.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³].

4) Зобразимо план розташування груп резервуарів.



5) Визначимо висоту обвалування для окремої групи, згідно з п. 17.1.35 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа», за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{V_{\max}}{a \cdot b - \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}} + 0,2 = \frac{5000}{58,5 \cdot 58,5 - \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 21^2}{4}} + 0,2 = 2,7 \text{ м}$$

де: V_{\max} – фактична місткість найбільшого резервуара, [м³]; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, [м]; d – діаметр резервуара, [м]; n – кількість резервуарів.

Для визначення довжини та ширини резервуарного парку визначаємо такі відстані:

- діаметри резервуарів визначимо залежно від номінального об'єму резервуара та його типу за п.22 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»: $d = 21,0 \text{ м}$;

- відстані від стінок резервуарів до внутрішніх схилів обвалування визначаємо залежно від номінального об'єму резервуара за п.26 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»: $c = 3 \text{ м}$;

• всередині групи відстані між резервуарами визначаємо залежно від діаметра за п.24 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»:
 $k = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 21,0 = 10,5 \text{ м}$.

Довжину та ширину резервуарного парку визначимо зі схеми:

$$a = 2 \cdot c + 2 \cdot d + k = 2 \cdot 3 + 2 \cdot 21,0 + 10,5 = 58,5 \text{ м};$$

$$b = 2 \cdot c + 2 \cdot d + k = 2 \cdot 3 + 2 \cdot 21,0 + 10,5 = 58,5 \text{ м}.$$

б) Розраховану висоту обвалування порівнюємо із допустимими значеннями ($h_{обв.}^{\min} = 1 \text{ м}$, $h_{обв.}^{\max} = 3,9 \text{ м}$), згідно з п.17.1.36 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа».

Відповідь. Висота обвалування $h_{обв.} = 2,7 \text{ м}$.

Задача 7.2. Резервуарний парк підприємства загальною ємністю 300000 м³ для зберігання нафти містить резервуари з стаціонарною покрівлею і понтоном ємністю 50000 м³ кожний. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами резервуарів для зберігання горючих рідин.

Розв'язок

1) Визначаємо кількість резервуарів за формулою:

$$n = \frac{V_{заг.}}{V_{рез.}} = \frac{300000}{50000} = 6 \text{ шт.},$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{рез.}$ – об'єм резервуара, [м³].

2) Визначаємо допустиму загальну номінальну місткість групи $V_{дон.}^{zp.}$ за табл. 24 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»:

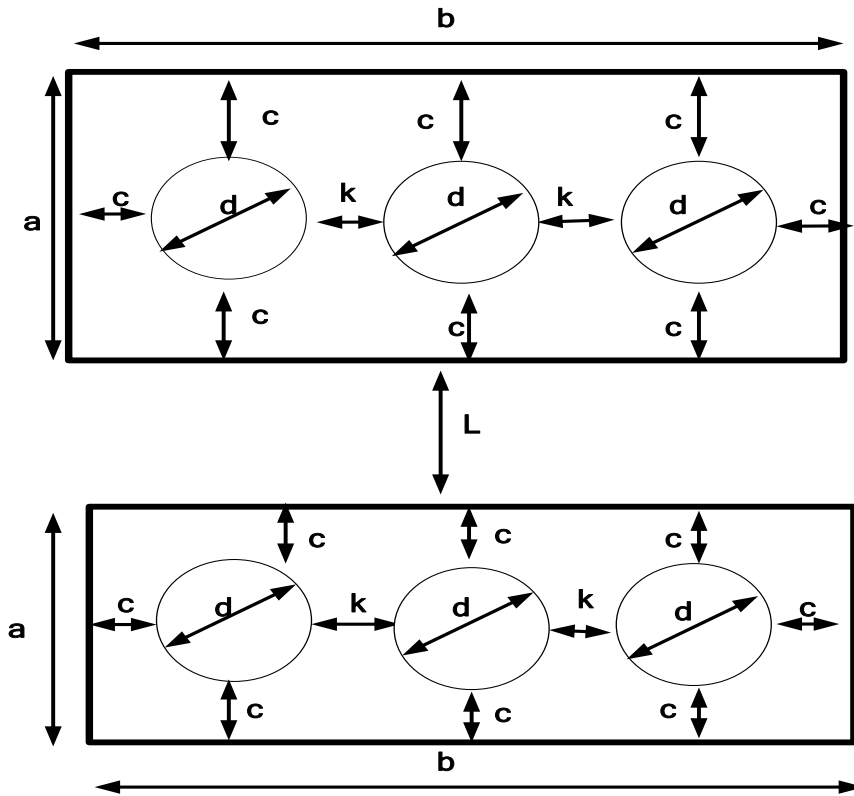
$$V_{дон.}^{zp.} = 200000 \text{ м}^3.$$

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{дон.}^{zp.}} = \frac{300000}{200000} = 1,5 \approx 2 \text{ групи},$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{дон.}^{zp.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³].

4) Зобразимо план розташування груп резервуарів.
Розташовуємо резервуари у дві групи по три штуки.



5) Визначаємо висоту обвалування для окремої групи, згідно з п. 17.1.35 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа», за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{V_{max}}{a \cdot b - \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}} + 0,2 = \frac{50000}{344,8 \cdot 72,7 - \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 60,7^2}{4}} + 0,2 = 2,7 \text{ м,}$$

де: V_{max} – фактична місткість найбільшого резервуара, [м³]; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, [м]; d – діаметр резервуара, [м]; n – кількість резервуарів.

Для визначення довжини та ширини резервуарного парку визначимо:

- діаметри резервуарів залежно від номінального об'єму резервуара та його типу за п.22 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»:

$$d = 60,7 \text{ м;}$$

- відстані від стінок резервуарів до внутрішніх схилів обвалування залежно від номінального об'єму резервуара за п.26 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»:

$$c = 6 \text{ м};$$

• всередині групи відстані між резервуарами залежно від діаметра за п.24 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»:

$$k = 30 \text{ м}.$$

Довжину та ширину резервуарного парку визначаємо зі схеми:

$$a = 2 \cdot c + 3 \cdot d + 2 \cdot k = 2 \cdot 6 + 3 \cdot 60,7 + 2 \cdot 30,0 = 254,1 \text{ м};$$

$$b = 2 \cdot c + d = 2 \cdot 6 + 60,7 = 72,7 \text{ м}.$$

б) Розраховану висоту обвалування порівнюємо із допустимими значеннями ($h_{обв.}^{\min} = 1 \text{ м}$, $h_{обв.}^{\max} = 3,9 \text{ м}$), згідно з п.26 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа».

7) Визначаємо відстань між групами резервуарів згідно з табл. 25 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа».

Відстань між групами резервуарів при наземному зберіганні і одиничному зберіганні до 10000 м^3 $L = 40 \text{ м}$.

Відповідь. Висота обвалування $h_{обв.} = 2,7 \text{ м}$.

Задача 7.3. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами резервуарів для зберігання скрапленого газу. В складі знаходиться чотири кульових резервуари із скрапленим газом об'ємом 900 м^3 і діаметром 12 м кожний.

Розв'язок

1) Визначимо загальну місткість резервуарів за формулою:

$$V_{заг.} = V_{рез.} \cdot n = 900 \cdot 4 = 3600 \text{ м}^3,$$

де: $V_{рез.}$ – об'єм резервуару, $[\text{м}^3]$; n – кількість резервуарів.

2) Визначаємо максимальну допустиму місткість групи $V_{дон.}^{сп.}$ згідно 15 ДБН В.2.5-20-2001 „Газопостачання” (табл. 33 додатків).

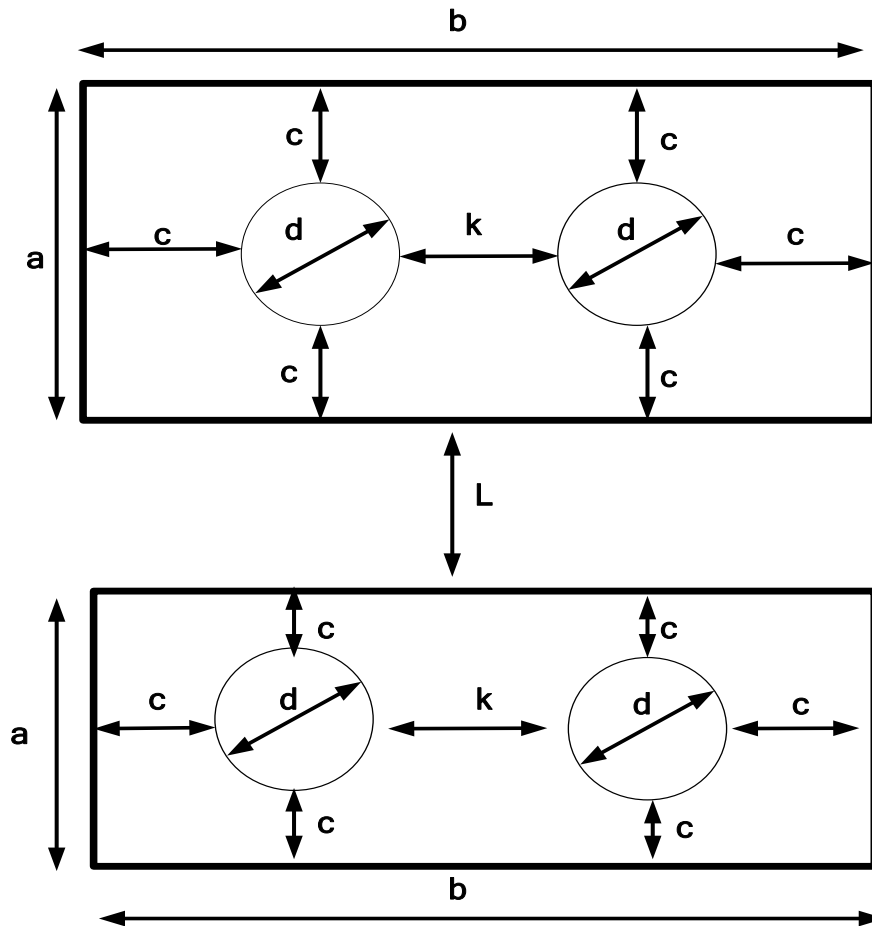
Оскільки загальна місткість резервуарів більша за 2000 м^3 , то допустима місткість групи $V_{дон.}^{сп.} = 2000 \text{ м}^3$.

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{гр.}} = \frac{3600}{2000} = 1,8 \approx 2 \text{ групи}$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{доп.}^{гр.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³];

4) Зобразимо план розташування груп резервуарів.



5) Визначимо висоту обвалування для окремої групи згідно з п. 8.50 ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”: «Для кожної групи наземних резервуарів за периметром повинно передбачатися замкнуте обвалування чи огорожувальна стінка з негорючих матеріалів (цегли, бутобетону, бетону тощо) висотою не менше 1 м, розраховане на 85 % місткості резервуарів в групі» за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{0,85 \cdot V_{гр.факт.}}{a \cdot b},$$

де: $V_{гр.факт.}$ – фактична місткість групи, [м³]; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, [м].

Для визначення довжини та ширини резервуарного парку визначаємо такі відстані:

• всередині групи відстань у просвіті між наземним резервуарами (між твірними горизонтальних циліндричних резервуарів) визначається за п.8.49. ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання” «Всередині групи відстані у просвіті між наземними резервуарами повинні бути не менші від діаметра найбільшого з поряд розташованих резервуарів, а при діаметрі резервуарів до 2 м – не менше 2 м».

$$k = 12 \text{ м};$$

• відстані від резервуарів до підшови обвалування чи обгороджувальної стінки повинні дорівнювати половині діаметра найближчого резервуара, але не менше 1 м (п.8.50. ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”).

$$c = 6 \text{ м}.$$

Визначаємо довжину та ширину резервуарного парку:

$$a = 2 \cdot c + d = 2 \cdot 6 + 12 = 24 \text{ м};$$

$$b = 2 \cdot c + 2 \cdot d + k = 2 \cdot 6 + 2 \cdot 12 + 12 = 48 \text{ м}$$

Підставивши отримані значення, отримаємо:

$$h_{обв.} = \frac{0,85 \cdot V_{сп.факт.}}{a \cdot b} = \frac{0,85 \cdot 800}{24 \cdot 48} = 0,6 \text{ м}$$

б) Згідно з вимогами п. 8.50 ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”, приймаємо висоту обвалування $h_{обв.} = 1,0 \text{ м}$.

7) Визначаємо відстань між групами резервуарів, згідно ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання” (табл. 34 додатків).

Оскільки, загальна місткість резервуарів в групі 800 м^3 , то відстань між групами резервуарів, згідно з табл. 16. ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”:
 $L = 20 \text{ м}$.

Відповідь. Висота обвалування $h_{обв.} = 1,0 \text{ м}$.

Задача 7.4. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами резервуарів для зберігання скрапленого газу. В складі знаходяться циліндричні горизонтальні резервуари із скрапленим газом. Загальна місткість резервуарів $V_{заг.} = 1600 \text{ м}^3$, об’єм резервуара $V_p = 200 \text{ м}^3$, довжина резервуара $l = 22,9 \text{ м}$, діаметр резервуара $d = 3,4 \text{ м}$.

Розв’язок

1) Визначаємо кількість резервуарів за формулою:

$$n = \frac{V_{заг.}}{V_{рез.}} = \frac{1600}{200} = 8 \text{ шт.},$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{рез.}$ – об'єм резервуара, [м³].

2) Визначаємо максимальну допустиму місткість групи $V_{доп.}^{зр.}$ згідно ДБН В.2.5-20-2001 „Газопостачання” (табл. 33 додатків).

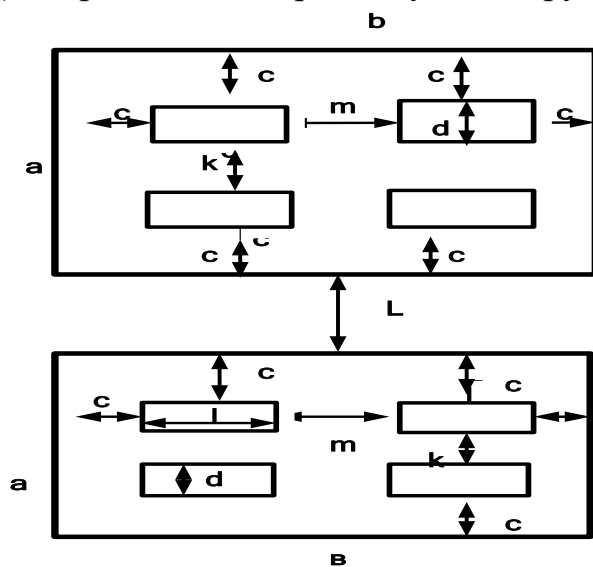
Оскільки, загальна місткість резервуарів не перевищує 2000 м³, то допустима місткість групи $V_{доп.}^{зр.} = 1000 \text{ м}^3$.

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{зр.}} = \frac{1600}{1000} = 1,6 \approx 2 \text{ групи}$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{доп.}^{зр.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³];

4) Зобразимо план розташування груп резервуарів.



5) Визначаємо висоту обвалування для окремої групи, згідно з п. 8.50 ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”: «Для кожної групи надземних резервуарів за периметром повинно передбачатися замкнуте обвалування чи огорожувальна стінка з негорючих матеріалів (цегли, бутобетону, бетону тощо) висотою не менше 1 м, розраховане на 85 % місткості резервуарів в групі», за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{0,85 \cdot V_{гр.факт.}}{a \cdot b},$$

де: $V_{гр.факт.}$ – фактична місткість групи, [м³]; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, [м].

Для визначення довжини та ширини резервуарного парку визначаємо такі відстані:

- всередині групи відстань у просвіті між наземними резервуарами (між твірними горизонтальних циліндричних резервуарів) визначаємо за п.8.49. ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання” «Всередині групи відстані у просвіті між надземними резервуарами повинні бути не менше діаметра найбільшого з поряд розташованих резервуарів, а при діаметрі резервуарів до 2 м – не менше 2 м»: $k = 3,4 \text{ м}$;

- відстань між рядами надземних резервуарів, що розташовуються в два і більше рядів, приймається рівною довжині найбільшого резервуара, але повинна бути не меншою 10 м (п.8.49. ДБН В 2.5-20–2001):

$$l = 22,9 \text{ м}$$

- відстані від резервуарів до підшви обвалування чи обгороджувальної стінки повинні дорівнювати половині діаметра найближчого резервуара, але не менше 1 м (п.8.50. ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”):

$$c = 1,7 \text{ м}.$$

Визначається довжина та ширина резервуарного парку:

$$a = 2 \cdot c + 2 \cdot d + k = 2 \cdot 1,7 + 2 \cdot 3,4 + 3,4 = 13,6 \text{ м}$$

$$b = 2 \cdot c + 2 \cdot l + m = 2 \cdot 1,7 + 2 \cdot 22,9 + 22,9 = 72,1 \text{ м}$$

Підставивши отримані значення, отримаємо:

$$h_{обв.} = \frac{0,85 \cdot V_{гр.факт.}}{a \cdot b} = \frac{0,85 \cdot 800}{13,6 \cdot 72,1} = 0,7 \text{ м}$$

б) Згідно з вимогами п. 8.50 ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання” приймається $h_{обв.} = 1,0 \text{ м}$.

7) Визначається відстань між групами резервуарів згідно ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання” (табл. 34 додатків).

Оскільки, загальна місткість резервуарів в групі 800 м^3 , то відстань між групами резервуарів, згідно з табл. 16. ДБН В 2.5-20–2001 „Газопостачання”:
 $L = 20 \text{ м}$.

Відповідь. Висота обвалування $h_{обв.} = 1,0 \text{ м}$.

Задача 7.5. На нафтопереробному підприємстві для знесолювання і зневоднення нафти використовуються 6 електродегідраторів об'ємом $V_{ел.} = 200 \text{ м}^3$ кожний, діаметр електродегідраторів $d = 3,6 \text{ м}$. Визначити кількість груп, відстані між групами електродегідраторів та висоту обвалування навколо однієї з груп електродегідраторів.

Розв'язок

1) Визначимо загальну місткість електродегідраторів за формулою:

$$V_{заг.} = V_{ел.} \cdot n = 200 \cdot 6 = 1200 \text{ м}^3,$$

де: $V_{ел.}$ – об'єм електродегідратора, м^3 ; n – кількість електродегідраторів.

2) Визначаємо допустиму загальну номінальну місткість групи $V_{доп.}^{zp.}$ згідно з п. 6.42. ВУПП-88:

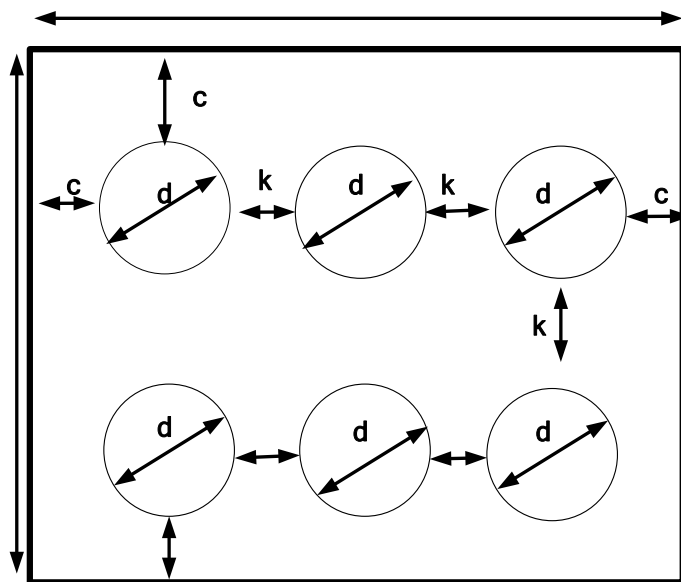
$$V_{доп.}^{zp.} = 2400 \text{ м}^3$$

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{zp.}} = \frac{1200}{2400} = 0,5 \approx 1 \text{ група},$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість електродегідраторів, м^3 ; $V_{доп.}^{zp.}$ – максимально допустима місткість групи електродегідраторів, м^3 .

4) Зобразимо план розташування груп електродегідраторів.



5) Визначаємо висоту обвалування для окремої групи, згідно з п. 6.42 ВУПП-88, за формулою:

$$h_{обв.} = \frac{V_{max}}{a \cdot b},$$

де: V_{max} – об'єм найбільшого електродегідратора, м^3 ; a, b – довжина та ширина парку електродегідраторів, м.

Для визначення довжини та ширини парку електродегідраторів визначаємо такі відстані:

- діаметри електродегідраторів: $d = 3,6 \text{ м}$ (з умови задачі);

- відстань від стінок електродегідратора до внутрішньої підосви

обвалування: $c = \frac{d}{2} = \frac{3,6}{2} = 1,8 \text{ м};$

- відстань між окремими електродегідраторами в групі повинна бути не менша від діаметра найбільшого сусіднього електродегідратора: $k = d = 3,6 \text{ м}.$

Згідно із планом розташування електродегідраторів, визначаємо довжину та ширину парку за формулами:

$$a = 2 \cdot c + 3 \cdot d + 2 \cdot k = 2 \cdot 1,8 + 3 \cdot 3,6 + 2 \cdot 3,6 = 21,6 \text{ м};$$

$$b = 2 \cdot c + 2 \cdot d + k = 2 \cdot 1,8 + 2 \cdot 3,6 + 3,6 = 14,4 \text{ м}.$$

Підставивши отримані значення, отримаємо:

$$h_{обв.} = \frac{V_{\max}}{a \cdot b} = \frac{200}{21,6 \cdot 14,4} = 0,64 \text{ м}.$$

- б) Згідно з п. 6.42 ВУПП-88, приймаємо висоту обвалування $h_{обв.} = 1 \text{ м}.$

Відповідь. Висота обвалування $h_{обв.} = 1,0 \text{ м}.$

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

7.1. Визначити висоту обвалування для групи з двох резервуарів. В резервуарах зберігається мазут. Відстань між резервуарами, а також між резервуарами та внутрішніми схилами обвалування прийняти нормативною. Дані для розрахунку наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид резервуарів	СП	СПП	СПП	ПП	СП	ПП	СПП	СП	СП	СП
Діаметр резервуарів, м	16	22	26,6	18,3	23	30	31,3	22,8	17	15,8
Ємність кожного резервуара, м ³	2000	3000	10000	6000	8000	12000	13000	6000	2500	1500

7.2. Склад підприємства містить N резервуарів зі стаціонарною покрівлею об'ємом V м³ кожний для зберігання ЛЗР та ГР. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами

резервуарів для зберігання дизельного палива. Дані для розрахунку наведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид резервуара	СП	СПП	СПП	ПП	СП	ПП	СПП	СПП	СП	СП
Вид рідини	Дизельне паливо	Бензин	Горюча рідина	Горюча рідина	Дизельне паливо	ЛЗР	Горюча рідина	ЛЗР	Горюча рідина	Дизельне паливо
Кількість резервуарів	8	10	12	8	10	12	5	8	12	6
Діаметр резервуара, м	10,4	10,4	15,2	21,0	19,0	28,5	40,0	45,6	21,0	56,9
Об'єм резервуара, м ³	700	1000	2000	5000	3000	10000	20000	30000	5000	40000

7.3. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами резервуарів для зберігання скрапленого газу. В складі знаходиться n горизонтальних резервуарів із скрапленим газом об'ємом V м³, довжиною l м, діаметром d м кожний. Дані для розрахунку приведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм резервуара V , м ³	25	50	100	160	200	25	50	100	160	200
Довжина резервуара l , м	8,3	11,4	14,7	18,5	22,9	8,3	11,4	14,7	18,5	22,9
Діаметр резервуара d , м	2,0	2,4	3,0	3,4	3,4	2,0	2,4	3,0	3,4	3,4
Кількість резервуарів n	10	10	8	10	8	8	8	10	8	10

7.4. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між

групами резервуарів для зберігання скрапленого газу. В складі знаходиться n кульових резервуарів із скрапленим газом, об'єм одного резервуара – V , діаметр – d . Дані для розрахунку наведені в табл. 7.4.

Таблиця 7.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм резервуара $V, \text{м}^3$	600	900	2000	4000	600	900	2000	4000	600	900
Діаметр резервуара $d, \text{м}$	10,5	12	16	20	10,5	12	16	20	10,5	12
Кількість резервуарів n	10	6	4	2	8	4	3	1	4	2

7.5. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами резервуарів для зберігання скрапленого газу. В складі знаходяться кульові резервуари із скрапленим газом. Загальна місткість резервуарів – $V_{\text{заг.}}$, об'єм одного резервуара – V , діаметром – d кожний. Дані для розрахунку наведені в табл. 7.5.

Таблиця 7.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальна місткість резервуарів $V_{\text{заг.}}, \text{м}^3$	4800	3600	6000	1800	1800	2700	3000	4500	1200	5400
Об'єм резервуара $V, \text{м}^3$	600	900	600	900	600	900	600	900	600	900
Діаметр резервуара $d, \text{м}$	10,5	12	16	20	10,5	12	16	20	10,5	12

7.6. Резервуарний парк підприємства загальною ємністю $V_{\text{заг}}$ для зберігання ЛЗР та ГР містить резервуари ємністю V кожний. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами резервуарів для зберігання горючих рідин. Дані для розрахунку наведені в табл. 7.6.

Таблиця 7.6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{\text{заг}}, \text{м}^3$	2000 00	1800 00	1600 00	1500 00	12000 00	3000 00	2800 00	2600 00	2500 00	2400 00
Вид резервуарів	ПП	СПП	СП	ПП	СПП	СП	ПП	СПП	СП	ПП
Вид рідини	ЛЗР	бензин	ЛЗР	ГР	ЛЗР	ГР	ЛЗР	ГР	ЛЗР	ГР
Об'єм резервуара, м^3	50000	3000 0	2000 0	3000 0	10000	3000 0	2000 0	3000 0	5000 0	4000 0

7.7. Визначити кількість груп, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами електродегідраторів для знесолення і зневоднення нафти. В складі знаходиться n електродегідраторів із нафтою об'ємом V , діаметром d кожний. Дані для розрахунку наведені в табл. 7.7.

Таблиця 7.7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм електродегідратора $V, \text{м}^3$	25	63	100	160	200	25	63	100	160	200
Діаметр електродегідратора $d, \text{м}$	2,8	3,2	3,4	3,4	3,6	2,8	3,2	3,4	3,4	3,6
Кількість електродегідраторів n	8	10	4	10	12	10	12	7	5	4

7.8. На нафтопереробному підприємстві для знесолювання і зневоднення нафти використовуються електродегідратори загальним об'ємом $V_{\text{заг}}$. Об'єм одного електродегідратора $V_{\text{ел.}}$, діаметр – d . Визначити кількість груп, відстані між групами електродегідраторів та висоту обвалування навколо однієї з груп електродегідраторів. Дані для розрахунку наведені в табл. 7.8.

Таблиця 7.8

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальний об'єм $V_{\text{заг.}}, \text{м}^3$	25	63	100	160	200	25	63	100	160	200
Об'єм електродегідратора $V_{\text{ел.}}, \text{м}^3$	25	63	100	160	200	25	63	100	160	200
Діаметр електродегідратора $d, \text{м}$	2,8	3,2	3,4	3,4	3,6	2,8	3,2	3,4	3,4	3,6
Кількість електродегідраторів n	8	10	4	10	12	10	12	7	5	4

Розділ 3. КАТЕГОРІЇ ПРИМІЩЕНЬ, БУДИНКІВ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ.

3.1. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЇ ПРИМІЩЕНЬ ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ ТА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

НАПБ Б.03.002-07 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» встановлює п'ять категорій приміщень:

- категорії А і Б – вибухопожежонебезпечні, ознакою яких є наявність в аналізованих об'єктах речовин, здатних вибухати і горіти з розрахунковим надлишковим тиском вибуху більшим ніж 5 кПа;
- категорія В – пожежонебезпечна, характеризується наявністю горючих матеріалів і речовин, здатних тільки горіти;
- категорія Г – характеризується відсутністю горючих матеріалів, але застосуванням високих температур;
- категорія Д – не пожежонебезпечна, пов'язана з застосуванням негорючих матеріалів у холодному стані.

Категорії вибухопожежної і пожежної небезпеки приміщень визначають, виходячи з виду горючих речовин і матеріалів, що знаходяться в апаратах, їх кількості і пожежонебезпечних властивостей, особливостей технологічних процесів.

Визначення пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів здійснюється на основі результатів випробувань чи розрахунків за стандартними методиками з врахуванням параметрів стану (тиску, температури тощо). Допускається використання довідкових даних, які опубліковані головними науково-дослідними організаціями в області пожежної безпеки. Також допускається використання показників пожежної небезпеки для сумішей речовин і матеріалів за найбільш небезпечним компонентом.

При класифікації виробничих приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою враховується:

- агрегатний стан речовин і матеріалів, що застосовуються;
- вибухопожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів (максимальний тиск вибуху (P_{max}) при стехіометричній концентрації горючих речовин у повітрі ($C_{ст}$), теплота згоряння (H_T), температура спалаху ($t_{сп}$) ЛЗР);
- реальні умови проведення технологічного процесу (тиск, температура, енергетичний потенціал вибухопожежонебезпечного технологічного блоку тощо) для прогнозування найбільш несприятливого варіанта аварійної ситуації, при якому в приміщенні може надійти найбільша кількість найбільш вибухопожежонебезпечної речовини;
- наявність технічних засобів контролю і захисту від утворення вибухонебезпечних концентрацій на випадок розгерметизації технологічного обладнання (сигналізатори довибухонебезпечних концентрацій, аварійна

вентиляція, швидкодіючі системи відключення пошкодженого апарата, технічні заходи для обмеження площі розливу рідини, аварійний злив рідини, аварійний викид газу тощо);

- реальні умови утворення зон вибухонебезпечних концентрацій;
- можливість виникнення джерела запалювання (приймається, що при аварійній ситуації вона дорівнює одиниці);
- надлишковий тиск вибуху ΔP при займанні локального скупчення горючої суміші (він визначається з урахуванням процесу горіння і негерметичності приміщення);
- стійкість конструкцій будинку до надлишкового тиску вибуху.

Відповідно до НАПБ Б.03.002-07 виробничі приміщення за вибухопожежною і пожежною безпекою приймаються згідно з табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Класифікація приміщень за вибухопожежною і пожежною безпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (обертаються) у приміщенні
А вибухо-пожежно-небезпечна	Горючі гази, легкозаймісті рідини з температурою спалаху не більше 28°C в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, що перевищує 5 кПа. Речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа.
Б вибухо-пожежно-небезпечна	Горючий пил або волокна, легкозаймісті рідини із температурою спалаху більше 28°C, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, що перевищує 5 кПа.
В пожежно-небезпечна	Горючі гази, легкозаймісті, горючі і важкогорючі рідини, а також речовини та матеріали, які здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним вибухати і горіти або тільки горіти; горючий пил і волокна, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, речовини і матеріали, за умови, що приміщення, у яких вони знаходяться (обертаються), не відноситься до категорій А, Б і питоме пожежне навантаження для твердих і рідких легкозаймістих та горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 м ² кожна перевищує 180 МДж/м ² .

Г	Негорючі речовини і матеріали в гарячому, розпеченому або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я; горючі гази, рідини і тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо.
Д	Речовини і матеріали, що вказані вище для категорій приміщень А, Б, В (крім горючих газів) у такій кількості, що їх питоме пожежне навантаження для твердих і рідких горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 м ² кожна не перевищує 180 МДж/м ² , а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані, за умови, що приміщення, в яких знаходяться (обертаються) вищевказані речовини і матеріали, не відноситься до категорій А, Б і В.

Примітка 1. Площу окремих ділянок для твердих і рідких важкогорючих, горючих та легкозаймистих речовин, що утворюють пожежне навантаження, визначають за розмірами проекції їх площі розміщення (складування), а також площі розливу під час розрахункових аварій на горизонтальну поверхню підлоги.

Примітка 2. Приміщення відноситься до категорії В, якщо його площа менша або дорівнює 10 м² і в ньому знаходяться (обертаються) горючі матеріали і речовини, що утворюють пожежне навантаження, за умови, що приміщення не відноситься до категорій А і Б.

Визначення категорій приміщень здійснюється шляхом послідовної перевірки приналежності приміщення до категорії від вищої (А) до нижчої (Д).

Вибір та обґрунтування розрахункового варіанта

При розрахунку значень критеріїв вибухопожежної небезпеки в якості розрахункового необхідно вибрати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість речовин або матеріалів, найбільш небезпечних з точки зору наслідків вибуху.

Кількість речовин, які надійшли в приміщення, і які можуть утворювати вибухонебезпечні газоповітряні або пароповітряні суміші, визначається із таких передумов:

а) відбувається аварія одного з апаратів;

б) все, що міститься в апараті, надходить в приміщення;

в) відбувається одночасно витікання речовин з трубопроводів, які живлять апарат по прямому і зворотному потоках протягом часу, необхідного для відключення трубопроводів.

Розрахунковий час відключення трубопроводів визначається у кожному конкретному випадку, виходячи з реальних умов, і повинен бути мінімальним з врахуванням паспортних даних на запірні пристрої, характеру технологічного процесу і виду розрахункової аварії.

Розрахунковий час від'єднання трубопроводів слід приймати рівним:

- часу спрацювання системи автоматики від'єднання, трубопроводів згідно паспортними даними установки, якщо ймовірність відмови системи автоматики не перевищує 0,000001 на рік чи забезпечене резервування її елементів (але не більше 3 с);

- 120 с, якщо ймовірність відмови системи автоматики перевищує 0,000001 на рік і не забезпечене резервування її елементів;

- 300 с при ручному відключенні.

г) відбувається випаровування з поверхні розлитої рідини; площа випаровування при розливі на підлогу (за відсутності довідкових даних) визначається, виходячи із розрахунку, що 1 л суміші і розчинів, які містять 70% і менше (за масою) розчинників, розливаються на площу 0,5 м², а інші рідини – на 1 м² підлоги приміщення);

д) відбувається випаровування рідини з апаратів, які експлуатуються з відкритою поверхнею рідини і з свіжопофарбованих поверхонь;

е) вважається, що тривалість випаровування рідин дорівнює часу її повного випаровування, але не більше 3600 с.

Кількість пилу, який може утворювати вибухонебезпечну суміш, визначається із таких передумов:

а) перед аварією відбулося нагромадження пилу у виробничому приміщенні, яке здійснювалося в умовах нормального режиму роботи (наприклад, пилоутворення через негерметичність виробничого обладнання);

б) в момент аварії відбулася планова або раптова розгерметизація одного із технологічних апаратів, в результаті якої весь пил з апарата потрапив у приміщення.

Вільний об'єм приміщення визначається як різниця між об'ємом приміщення та об'ємом, який займає технологічне обладнання. Якщо вільний об'єм приміщення визначити неможливо, то допускається приймати його умовно рівним 80% герметичного об'єму приміщення.

При розрахунку надлишкового тиску вибуху водню в акумуляторних приміщеннях в якості розрахункового варіанта приймається найбільш несприятливий з точки зору вибуху період, пов'язаний з формуванням і зарядом повністю розряджених батарей з напругою більше 2,3 В на елемент і найбільшим значенням зарядного струму, що перевищує в чотири рази максимальний зарядний струм. Відбувається заряд акумуляторних батарей з максимальною номінальною ємністю, А·год. Кількість батарей, що одночасно заряджаються, встановлюється залежно від експлуатаційних умов, потужності і напруги зовнішнього джерела струму. Тривалість надходження водню в приміщення відповідає кінцевому періоду заряду при максимальному газовилученні та приймається рівною 1 год (Т=3600 с). За розрахункову температуру приймається максимальна температура повітря в населеному пункті (кліматичній зоні).

Під час розрахунку категорії приміщення за пожежною безпекою (категорія В) вибирається варіант, коли за технологічним процесом у

приміщенні знаходиться (обертається) найбільша кількість горючих речовин і матеріалів, якій відповідає найбільше пожежне навантаження.

Для приміщень категорії Д ($g \leq 180$ МДж/м²) слід враховувати мінімальну відстань від поверхні пожежного навантаження до нижнього поясу ферм перекриття (покриття) (Н). У приміщеннях категорії Д відстані між ділянками, що містять складові пожежного навантаження (тверді горючі і важкогорючі матеріали), повинні бути не менші за мінімальні граничні значення l_{sp1} та l_{sp2} , що наведені у **таблиці 8.2**.

Критична поверхнева густина променистого потоку ($q_{кр}$, кВт/м²) – мінімальне значення густини теплового потоку, при якому виникає стійке полум'яне горіння матеріалів, на які падає променистий потік.

Значення l_{sp} , що наведені у таблиці 8.2, приймаються за умови, якщо $H \geq 11$ м; якщо $H < 11$ м, то мінімальну граничну відстань визначають як $l_{sp} = l_{sp1} + (11 - H)$, де l_{sp1} визначають з таблиці 8.2, H – мінімальна відстань від поверхні матеріалів пожежного навантаження до нижнього пояса ферм перекриття (покриття), м.

Якщо пожежне навантаження під час розрахункової аварії складається з різних матеріалів, то значення $q_{кр}$, визначають за матеріалом з мінімальним значенням $q_{кр}$. Для матеріалів пожежного навантаження з невідомими значеннями $q_{кр}$ приймають $l_{гр.1} \geq 12$ м.

Якщо пожежне навантаження складається з ЛЗР та ГР, мінімальну граничну відстань $l_{гр.3}$ між сусідніми ділянками розміщення (розливу) складових пожежного навантаження у приміщеннях категорії Д визначають за формулами:

$$\begin{aligned} l_{гр.3} &\geq 15 \text{ м, якщо } H \geq 11 \text{ м,} \\ l_{гр.3} &\geq 26 - H, \text{ якщо } H < 11 \text{ м} \end{aligned}$$

Розрахункові формули для визначення критеріїв вибухопожежної та пожежної небезпеки

1. Надлишковий тиск вибуху (ΔP) для індивідуальних горючих речовин, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_{g,n}} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (8.1)$$

де: P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші в замкнутому об'ємі, визначається експериментально або з довідника. За відсутності даних допускається приймати тиск $P_{\max} = 900$ кПа; P_0 – початковий тиск; допускається приймати рівним 101 кПа; m – маса горючого газу або парів легкозаймистих чи горючих рідин, які надійшли в приміщення при аварії, [кг]; V_g – вільний об'єм приміщення, [м³]; $\rho_{g,n}$ – густина газу або пари при розрахунковій температурі t_p , [кг·м⁻³]; C_{cm} – стехіометрична концентрація горючих газів або парів легкозаймистих чи горючих рідин, [% об.]; K_n – коефіцієнт, який враховує негерметичність приміщення і неадіабатичність процесу горіння. Допускається приймати

$K_H=3$; Z – коефіцієнт участі горючого у вибуху (приймається за таблицею 8.3).

2. Надлишковий тиск вибуху ΔP (кПа) для індивідуальних речовин, до складу яких не входять атоми С, Н, О, Cl, N, Br, I, F, а також для їх сумішей визначається за формулою:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_g \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (8.2)$$

де: m – маса горючого газу або пари легкозаймистих чи горючих рідин (або їх сумішей), які надійшли в приміщення при аварії, [кг]; H_m – теплота згоряння речовини, [кДж/кг]; P_0 – початковий тиск, допускається приймати рівним 101 кПа; Z – коефіцієнт участі горючого у вибуху; V_g – вільний об'єм приміщення, [м³]; ρ_n – густина повітря до вибуху при початковій температурі, [кг/м³]; C_p – теплоємність повітря; допускається приймати 1010 Дж/кг·К; T_0 – початкова температура повітря, [К]; K_H – коефіцієнт негерметичності приміщення; $K_H=3$.

3. Стехіометрична концентрація горючого газу, парів легкозаймистих та горючих рідин, % об., визначається за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (8.3)$$

де: β – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння.

4. Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції горіння визначається за формулою:

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_o}{4} - \frac{n_g}{2}, \quad (8.4)$$

де: n_c, n_n, n_o, n_g – число атомів С, Н, О і галогенів в молекулі горючого.

5. Густина газу, пари та повітря $\rho_{z,n}$ при розрахунковій температурі t_p , [кг·м⁻³], визначається за формулою:

$$\rho_{z,n} = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (8.5)$$

$$\rho_{нов.} = 12,15 \cdot \frac{M}{t_p + 273} \quad (8.5.1)$$

де: M – молярна маса, [кг·кмоль⁻¹]; V_o – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м³·кмоль⁻¹; t_p – розрахункова температура, [°C].

6. Об'єм газу або рідини, що надходять у приміщення при розрахунковій аварії, визначається за формулою:

$$V_{бл.} = V_a + V_T, \quad (8.6)$$

де: V_a – об'єм газу, який вийшов з апарата, [м³]; V_T – об'єм газу, який вийшов з трубопроводів, [м³].

7. Маса газу або рідини, що надходять у приміщення при розрахунковій аварії визначається за формулою:

$$m_{z,p} = V_{\text{бл.}} \cdot \rho_{z,p}, \quad (8.7)$$

де: $V_{\text{бл.}}$ – об’єм газу, який вийшов з блока, $[\text{м}^3]$; $\rho_{z,p}$ – густина газу та рідини, $[\text{кг}/\text{м}^3]$.

8. Об’єм газу, який виходить із апарата визначається за формулою:

$$V_a = \frac{P_p}{P_o} \cdot V = 0,01 \cdot P_p \cdot V \quad (8.8)$$

де: P_p – тиск газу в апараті, $[\text{кПа}]$; P_o – атмосферний тиск, що дорівнює $101,3$ кПа ; V – об’єм апарата, $[\text{м}^3]$.

9. Об’єм рідини, що виходить із апарату визначається за формулою:

$$V_a = V \cdot \varepsilon \quad (8.9)$$

де: V – об’єм апарата, $[\text{м}^3]$; ε – ступінь заповнення апарата.

10. Об’єм газу або рідини, які виходять із трубопроводів визначається за формулою:

$$V_{\text{т}} = V_{1\text{т}} + V_{2\text{т}}, \quad (8.10)$$

де: $V_{1\text{т}}$ – об’єм газу, який вийшов з трубопроводу до його відключення, $[\text{м}^3]$; $V_{2\text{т}}$ – об’єм газу, який вийшов з трубопроводу після його відключення, $[\text{м}^3]$.

11. Об’єм газу або рідини, які виходять із трубопроводів до їх відключення визначається за формулою:

$$V_{1\text{т}} = Q \cdot \tau_{\text{відкл}}, \quad (8.11)$$

де: Q – витрата газу, що визначається залежно від тиску в трубопроводі, його діаметра, температури газового середовища тощо, $[\text{м}^3/\text{с}]$; $\tau_{\text{відкл.}}$ – час відключення, $[\text{с}]$.

12. Об’єм газу, який виходить із трубопроводів після їх відключення визначається за формулою:

$$\begin{aligned} V_{2\text{т}} &= \pi \frac{P_p}{P_o} \cdot (R_1^2 \cdot l_1 + R_2^2 \cdot l_2 + \dots + R_n^2 \cdot l_n) = \\ &= 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot (R_1^2 \cdot l_1 + R_2^2 \cdot l_2 + \dots + R_n^2 \cdot l_n), \end{aligned} \quad (8.12)$$

де: P_p – максимальний тиск в трубопроводі за технологічним регламентом, $[\text{кПа}]$; P_o – атмосферний тиск, що дорівнює $101,3$ кПа ; R_1, R_2, \dots, R_n – внутрішній радіус трубопроводів, $[\text{м}]$; l_1, l_2, \dots, l_n – довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувки, $[\text{м}]$.

13. Об’єм рідини, яка виходить із трубопроводів після їх відключення визначається за формулою:

$$V_{2\text{т}} = \pi \cdot (R_1^2 \cdot l_1 + R_2^2 \cdot l_2 + \dots + R_n^2 \cdot l_n), \quad (8.13)$$

14. Маса парів рідини, яка надходить у приміщення за наявності декількох джерел випаровування визначається за формулою:

$$m = m_p + m_{\text{емк.}} + m_{\text{нов.}}, \quad (8.14)$$

де: m_p – маса рідини, яка випарувалась з поверхні розливу, [кг]; $m_{\text{емк.}}$ – маса рідини, яка випарувалась з поверхні відкритої ємності, [кг]; $m_{\text{нов.}}$ – маса рідини, яка випарувалась з пофарбованої поверхні, [кг].

15. Маса рідини, яка випарувалась (кожен з доданків у формулі (8.14) визначається за формулою:

$$m = W \cdot F_v \cdot \tau_{\text{вин.}}, \quad (8.15)$$

де: F_v – площа випаровування, [м²]; $\tau_{\text{вин.}}$ – тривалість надходження горючих газів, парів ЛЗР чи ГР в приміщення, [с]; W – інтенсивність випаровування, [кг·с⁻¹·м⁻²], інтенсивність випаровування W визначається за довідковими і експериментальними даними.

16. Інтенсивність випаровування W , [кг·с⁻¹·м⁻²] для легкозаймистих рідин, які не нагріті вище температури навколишнього середовища, при відсутності даних допускається розраховувати за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (8.16)$$

де: M – молекулярна маса, [г·моль⁻¹]; P_H – тиск насичених парів при розрахунковій температурі рідини t_p , [кПа]; η – коефіцієнт, що залежить від швидкості і температури повітряного потоку над поверхнею випаровування, приймається за [таблицею 8.4](#).

17. Швидкість повітряного потоку у приміщенні визначається за формулою:

$$U = A \cdot l, \quad (8.17)$$

18. Маса легкозаймистих та горючих рідин у суміші, що розлилася визначається за формулою:

$$m_{\text{розл.}} = 10^{-2} \cdot V_{\text{ол.}} \cdot \varphi \cdot \rho_p, \quad (8.18)$$

19. Розрахункова температура рідини визначається за формулою:

$$t_{\text{pid.}} = 0,5 \cdot (t_{\text{pid.}} + t_{\text{нов.}}), \quad (8.19)$$

20. Тривалість повного випаровування рідини, що розлилася, визначається за формулою:

$$\tau_g = \frac{m_p}{W \cdot F_g} \quad (8.20)$$

21. Коефіцієнт K , що враховує роботу аварійної вентиляції визначається за формулою:

$$K = A \cdot \tau_{\text{вин.}} + 1 \quad (8.21)$$

22. Маса горючого газу, пари легкозаймистих чи горючих рідин, пилу, яка залишається (акумуляована) в об'ємі приміщення, у результаті роботи аварійної вентиляції визначається за формулою:

$$\text{а) газу } m^* = \frac{m}{1 + A \cdot \tau} \quad (8.22)$$

$$\text{б) пари рідини} \quad m^* = \frac{m}{1 + A \cdot \tau_{\text{вун.}}} \quad (8.23)$$

23. Теплота згоряння визначається за формулою:

а) для рідини за формулою Менделєєва Д.І., кДж/кг:

$$H_T = 339,4 \cdot C + 1257 \cdot H - 108,9 \cdot (O + N - S) - 25,1 \cdot (9 \cdot H + W) \quad (8.24)$$

де: С, Н, S, N, O, W – відповідно вміст у масових відсотках вуглецю, водню, сірки, азоту, кисню, вологи у робочій масі, тобто елементний склад;

б) для нафтопродуктів за формулою Басса, МДж/кг:

$$H_T = 50460 - 8,545 \cdot \rho_p \quad (8.25)$$

в) для суміші газів

$$H_T = 0,01 \cdot \sum_{i=1}^n H_{Ti} \cdot \varphi_i \quad (8.26)$$

де H_{Ti} – теплота згоряння і-го горючого компонента, [кДж/кг], φ_i – відсотковий вміст і-го горючого компонента, [% мас].

24. Тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини, кПа, визначається за формулою:

$$P_s = 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A} \right)} \quad (8.27)$$

$$P_s = 0,133 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A} \right)} \quad (8.27.1)$$

Формула (8.27) застосовується у випадку, коли константи Антуана визначались з використанням тиску парів рідин, за різних температур, взятого в кПа.

Формула (8.27.1) застосовується у випадку, коли константи Антуана визначались з використанням тиску парів рідин, за різних температур, взятого в мм.рт.ст.

25. Густина газу, пари за технологічного режиму ведення процесу (у апараті), кг/м³ визначається за формулою:

$$\rho_{z,n} = \frac{M \cdot (1 + P_p) \cdot 10^5}{8314(t_p + 273)} \quad (8.28)$$

26. Теплота перегрівання рідини, кДж, визначається за формулою:

$$H_n = m_p \cdot C_p \cdot (t_{\text{pid.}} - t_k) \quad (8.29)$$

27. Маса парів, яка може утворюватися від теплоти перегрівання рідини визначається за формулою:

$$m_n = \frac{H_n}{H_{\text{вун.}}} \quad (8.30)$$

28. Маса парів у об'ємі апарата, вільного від рідини визначається за формулою:

$$m_{\text{об.}} = V \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_n \quad (8.31)$$

29. Швидкість витікання рідини із аварійного отвору під тиском визначається за формулою:

$$U_p = \mu \cdot \sqrt{0,2 \cdot P_p \cdot g_e}, \quad (8.32)$$

де $\mu = 0,6$.

30. Маса рідини, яка переходить у аерозоль при аварійному витіканні під тиском із отвору, визначається за формулою:

$$m_{aep.} = \pi \cdot r^2 \cdot U_p \cdot \tau_{aep.} \cdot \rho_p \quad (8.33)$$

31. Маса газу, який поступає у приміщення з технологічного блока у результаті аварії, визначається за формулою:

$$m = V_{bl} \cdot \rho_z \quad (8.34)$$

32. Вільний об'єм приміщення визначається за формулою:

$$V_{вільн.} = l \cdot b \cdot h \cdot \frac{K_{вільн.}}{100} \quad (8.35)$$

33. Маса горючого пилу, що відклався у приміщенні до моменту аварії, визначається за формулою:

$$m_{II} = K_{Г} \cdot (1 - K_{II}) \cdot (m_1 + m_2), \quad (8.36)$$

де: $K_{Г}$ – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу, [кг]; K_{II} – коефіцієнт ефективності пилоприбирання. Для ручного сухого прибирання – 0,6; для вологого – 0,7; для механізованого вакуумного: підлога рівна – 0,9; підлога з вибоїнами (до 5 % площі) – 0,7.

34. Маса пилу m_i , ($i=1$ (важкодоступні поверхні); $i=2$ (доступні поверхні), що осідає на різних поверхнях у приміщенні за період між прибираннями, кг, визначається за формулою:

$$m_i = M_i \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_i \quad (i = 1, 2) \quad (8.37)$$

35. Маса пилу, кг, що потрапляє до об'єму приміщення за проміжок часу між генеральними прибираннями пилу, визначається за формулою:

$$M_1 = \sum_j M_{1j}, \quad (8.38)$$

36. Маса пилу, що потрапляє до об'єму приміщення за проміжок часу між поточними прибираннями пилу, визначається за формулою:

$$M_2 = \sum_j M_{2j} \quad (8.39)$$

37. Маса пилу, що потрапляє до об'єму приміщення, визначається за формулою:

$$M_i = \sum_j (G_{ij} \cdot F_{ij}) \cdot \tau_i \quad (i = 1, 2) \quad (8.40)$$

38. Розрахунок водню, що надійшов в приміщення при заряді акумуляторних батарей.

Маса водню, $\text{кг} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, що виділився в одному елементі при встановленій динамічній рівновазі між силою зарядного струму і кількістю газу, що виділяється, визначається за формулою:

$$\frac{M}{I \cdot T} = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} = \frac{1}{9,65 \cdot 10^4} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1} = 1,036 \cdot 10^{-8} \quad (8.41)$$

де: $F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{с} \cdot \text{моль}^{-1}$ – постійна Фарадея; A – атомна одиниця маси водню, рівна $1 \text{ а.о.м} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; $Z = 1$ – валентність водню; I – сила зарядного струму, [А]; T – розрахунковий час заряду, [с].

Об'єм водню, що надійшов в приміщення при заряді декількох батарей, [м³] визначається за формулою:

$$V_n = \frac{1,036 \cdot 10^{-8}}{\rho_r} \cdot 4[I_1 \cdot n_1 + I_2 \cdot n_2 + \dots + I_i \cdot n_i] \cdot 3600, \quad (8.42)$$

де: ρ_r – густина водню, при розрахунковій температурі повітря, [кг·м⁻³]; I_i – максимальний зарядний струм i -ої батареї, А; n_i – кількість акумуляторів i -ої батареї.

Максимальна сила зарядного струму приймається згідно з ГОСТ 825-73 "Аккумуляторы свинцовые для стационарных установок".

39. Величина пожежного навантаження, до матеріалів якої входять різні речовини (суміші) горючих, важкогорючих рідин, твердих горючих і важкогорючих речовин та матеріалів у межах пожежонебезпечної ділянки, визначається за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p, \quad (8.43)$$

де: G_i – кількість i -го матеріалу з пожежного навантаження, [кг]; Q_i^p – нижня теплота згоряння i -го матеріалу з пожежного навантаження, [МДж/кг].

40. Питоме пожежне навантаження g , МДж/м², визначається з співвідношення:

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (8.44)$$

де: Q – пожежне навантаження, [МДж]; S – площа розташування матеріалів пожежного навантаження, [м²] (не менш ніж 10 м²).

41. Якщо пожежне навантаження складається з ЛЗР та ГР, мінімальну граничну відстань $I_{гр.3}$ між сусідніми ділянками розміщення (розливу) складових пожежного навантаження у приміщеннях категорії Д визначають за формулами:

$$I_{гр.3} \geq 15 \text{ м, якщо } H \geq 11 \text{ м,} \quad (8.44)$$

$$I_{гр.3} \geq 26 - H, \text{ якщо } H < 11 \text{ м} \quad (8.45)$$

42. Якщо під час визначення критеріїв за пожежною небезпекою приміщення за формулою (8.43) величина пожежного навантаження Q , МДж/м², що складається з матеріалів, зазначених у п.39, на окремій ділянці відповідає нерівності:

$$Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2, \quad (8.46)$$

то приміщення належить до категорії В.

У наведеній нерівності: g_T – питоме пожежне навантаження, [МДж/м²];
Н – мінімальна відстань від поверхні пожежного навантаження до нижнього пояса ферм перекриття (покриття), [м].

В іншому випадку приміщення належить до категорії Д. Якщо $g < 180$ МДж/м², то для розрахунку величина g_T приймається рівною 180 МДж/м².

43. Гранична площа окремої ділянки $S_{гр}$, м², у приміщеннях категорії Д, на якій дозволяється розміщення пожежного навантаження, що складається з речовин і/або матеріалів, **зазначених у п. 2**, визначається за формулою:

$$S_{гр} = 0,64 \cdot H^2. \quad (8.47)$$

Структура розрахунку категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою

1. Обґрунтування розрахункового варіанта.
2. Розрахунок маси горючих газів, легкозаймистих і горючих рідин, горючого пилю, які можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, паро-, пилоповітряні суміші в приміщенні.
3. Розрахунок надлишкового тиску вибуху ΔP в приміщенні.
4. Висновок про категорію приміщення за вибухопожежною і пожежною небезпекою.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 8.1. Дільниця наповнення балонів вуглеводневими скрапленими газами розташована в загальному виробничому приміщенні розміром 90х30х9м. На дільниці використовується газ пропан. Газонаповнювальна установка має витратний балон місткістю 120 л. Розрахункова температура в приміщенні +20°C. Визначити категорію виробничого приміщення.

Розв'язок

Для розрахунку приймаємо такий варіант можливої аварійної ситуації: за найбільш небезпечну речовину у приміщенні беремо газ пропан; вважатимемо, що під час аварії витратний балон мав максимальне заповнення і весь газ з нього вийде у приміщення; враховуючи високий тиск насиченої пари скрапленого газу, вважатимемо, що за розрахунковий час (3600 с відповідно до п.2.2(е) [4]) весь скраплений газ випаровується.

Визначимо надлишковий тиск можливого вибуху за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{M_p \cdot z}{V_b \cdot \rho_p} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_H}$$

де: P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для пропану він становить 843 кПа; P_o – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4] допускається вважати рівним 101 кПа; M_p – маса пропану, що виходить із витратного балона, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4] вважаємо його рівним 0,5; V_b – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_p – густина пропану, [кг/м³]; $C_{ст}$ – стехіометрична концентрація пропану, [% об.]; K_H – коефіцієнт

негерметичності приміщення та неадібатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4] вважатимемо рівним 3.

Масу пропану, який вийде в приміщення з витратного балона при його максимальному заповненні, визначаємо за формулою:

$$M_n = K_3 \cdot V_6 = 0,425 \cdot 120 = 51 \text{ кг}$$

де: K_3 – коефіцієнт заповнення балона пропаном; згідно із довідниковими даними, для пропану $K_3 = 0,425$ кг/л; V_6 – ємність витратного балона наповнювальної установки; за умовами завдання $V_6 = 120$ л.

Стехіометричну концентрацію пропану визначаємо за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 5} = 3,97 \%$$

де: β – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння.

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 3 + \frac{8}{4} = 5$$

де: n_c , n_n , n_o , n_x – число атомів С, Н, О та галогенів в молекулі пропану (C_3H_8).

За відсутності даних про об'єм технологічного обладнання, відповідно до вимог п.3.4 [4], вважатимемо, що вільний об'єм приміщення умовно дорівнює 80 % від його геометричного об'єму. Тобто, вільний об'єм виробничого приміщення визначимо за формулою:

$$V_6 = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (90 \cdot 30 \cdot 9) = 19440 \text{ м}^3$$

де: L , B , H – довжина, ширина та висота приміщення [м].

Густину пропану при заданій температурі визначимо за формулою:

$$\rho_n = \frac{M}{V_t} = \frac{44}{24,04} = 1,83 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

де: M – молекулярна маса пропану (C_3H_8). Виходячи з хімічної формули пропану, його молекулярна маса буде дорівнювати:

$$M = 12 \cdot 3 + 1 \cdot 8 = 44$$

V_t – об'єм 1 кг-моль газу при заданій температурі, [м³].

$$V_t = 22,4 \cdot \frac{T_p}{T_o} = 22,4 \cdot \frac{273 + 20}{273} = 24,04 \text{ м}^3$$

Надлишковий тиск можливого вибуху визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{M_n \cdot z}{V_6 \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (843 - 101) \cdot \frac{51 \cdot 0,5}{19440 \cdot 1,83} \cdot \frac{100}{3,97} \cdot \frac{1}{3} = 4,47 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. Незважаючи на те, що пропан відноситься до горючих вибухонебезпечних газів, на підставі вимог п.2.2 та табл.1 [4], загальне виробниче приміщення, де розташована газонаповнювальна дільниця, не може бути віднесене до категорії «А», оскільки надлишковий тиск можливого вибуху становить менше 5 кПа. Вказане приміщення належить до категорії «В».

Задача 8.2. Компресорний цех для компримування природного газу розташований в загальному виробничому приміщенні розміром 123х6х6м. Продуктивність одного компресора у нормальних умовах 3 м³/с. Тиск всередині компресора становить 5,6 МПа. В компресорному цеху знаходиться 10 агрегатів (8 робочих і 2 резервні). Внутрішній об'єм одного компресора становить 0,7 м³. Діаметр трубопроводу d=0,5 м, відстань до засувки L₁=L₂=2м. Цех обладнаний загальною та аварійною вентиляцією (кратність обміну повітря аварійної вентиляції A = 8 год⁻¹). Електропостачання здійснюється за першою категорією надійності. Розрахункова температура в приміщенні +20°C.

Визначити категорію виробничого приміщення.

Розв'язок

Для розрахунку візьмемо такий варіант можливої аварійної ситуації: найбільш небезпечною речовиною у приміщенні є газ метан; під час аварії внутрішній об'єм компресора був повністю заповнений; під час аварії продовжувалось надходження газу в приміщення протягом часу, необхідного для автоматичного перекриття засувки (20 с).

Розрахунок надлишкового тиску можливого вибуху визначимо за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m_z \cdot z}{V_n \cdot \rho_z} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}$$

де: P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для метану він становить 706 кПа; P_o – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3. [4] вважатимемо рівним 101 кПа; m_г – маса метану, що виходить із компресора і трубопроводів, що надходять до нього, з врахуванням роботи вентиляції, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4] приймаємо його рівним 0,5; V_в – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_п – густина метану, [кг/м³]; C_{ст} – стехіометрична концентрація метану, [% об.]; K_н – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4] приймемо рівним 3.

Маса метану, який вийде в приміщення з компресора визначимо за формулою:

$$m_z^* = \left(V_{ан} \cdot \frac{P_p}{1 \cdot 10^5} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{iк} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jтп} \cdot f_{jтп} \cdot \frac{P_p}{1 \cdot 10^5} \right) \cdot \rho_r =$$

$$= (0,7 \cdot \frac{5,6 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^5} \cdot 1 + 3 \cdot 20 + (2 \cdot 0,19) \cdot \frac{56 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} + (2 \cdot 0,19) \cdot \frac{5,6 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^5}) \cdot 0,67 = 94,98 \text{ кг}$$

де: V_{ан} – геометричний внутрішній об'єм компресора, [м³]; V_{ан} = 0,7 м³; ε – ступінь заповнення апарата; ε = 1; P_p – робочий тиск середовища в апараті; P_p = 5,6 МПа; q_{ік} – продуктивність і-го компресора, [м³/с]; q_{ік} = 3 м³/с; τ_і – тривалість відключення і-го збудника витрат, [с]; τ_і = 20 с; l_{jтп} – довжина (м) j-ї ділянки трубопроводу; l = 2 м; f_{jтп} – переріз (м²) j-ї ділянки трубопроводу;

$f_{imp} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,19 \text{ м}^2$, де: d – діаметр трубопроводу, [м]; ρ_c – густина газу при робочій температурі, [кг/м³]; n – кількість збудника витрат; $n=1$; k – число ділянок трубопроводів; $k=2$.

Масу газу, яка буде акумульована в приміщенні до моменту вибуху з врахуванням роботи вентиляції, визначаємо за формулою:

$$m_z = \frac{M_z}{1 + \frac{A \cdot \tau}{3600}} = \frac{94,98}{1 + \frac{8 \cdot 20}{3600}} = 91,3 \text{ кг.}$$

Стехіометричну концентрацію метану визначаємо за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36 \%$$

де: β – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння.

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 1 + \frac{4}{4} = 2$$

де: n_c, n_n, n_o, n_x – число атомів С, Н, О та галогенів в молекулі метану (СН₄).

Вільний об'єм виробничого приміщення визначаємо за формулою:

$$V_g = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (123 \cdot 6 \cdot 6) = 3542,4 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Густина метану при заданій температурі визначаємо за формулою:

$$\rho_m = \frac{M}{V_t} = \frac{16}{24,04} = 0,67 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

де: M – молекулярна маса метану (СН₄). Виходячи з хімічної формули метану, його молекулярна маса буде дорівнювати:

$$M = 12 + 1 \cdot 4 = 16$$

V_t – об'єм 1 кг-моль газу при заданій температурі, [м³].

$$V_t = 22,4 \cdot \frac{T_p}{T_o} = 22,4 \cdot \frac{273 + 20}{273} = 24,04 \text{ м}^3$$

Надлишковий тиск можливого вибуху визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m_z \cdot z}{V_n \cdot \rho_m} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (706 - 101) \cdot \frac{91,3 \cdot 0,5}{3542,4 \cdot 0,67} \cdot \frac{100}{9,36} \cdot \frac{1}{3} = 41,4 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. Оскільки, метан відноситься до горючих вибухонебезпечних газів і надлишковий тиск можливого вибуху становить більше 5 кПа, то, на підставі вимог п.2.2 та табл.1 [4], приміщення компресорного цеху відноситься до категорії «А».

Задача 8.3. Визначити, до якої категорії відноситься приміщення розмірами 12х6х3м, у якому знаходиться газгольдер з метаном об'ємом 10 м³, трубопроводи з внутрішнім діаметром 40 мм, довжина до засувки на підвідному трубопроводі 5 м, на відвідному – 3 м. Тиск у системі 5 атм. Кратність повітрообміну $A=5 \text{ год}^{-1}$. Забезпечено резервування елементів

автоматики, що від'єднують подавання газу. Коефіцієнт вільного об'єму $K=80\%$. Температура повітря у приміщенні $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Розв'язок

Для розрахунку приймаємо такий варіант можливої аварійної ситуації: за найбільш небезпечну речовину у приміщенні беремо газ метан; вважатимемо, що під час аварії внутрішній об'єм газгольдера був повністю заповнений; вважається, що під час аварії продовжувалось надходження газу в приміщення протягом часу, необхідного для автоматичного перекриття засувки (3 с).

Надлишковий тиск вибуху визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для метану він становить 706 кПа; P_0 – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4] допускається приймати рівним 101 кПа; $M_{\text{п}}$ – маса метану, яка надходить в приміщення, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4] приймаємо його рівним 0,5; $V_{\text{в}}$ – вільний об'єм виробничого приміщення, [м^3]; $\rho_{\text{п}}$ – густина метану, [$\text{кг}/\text{м}^3$]; $C_{\text{ст}}$ – стехіометрична концентрація метану, [% об.]; $K_{\text{н}}$ – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4] приймаємо рівним 3.

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_g = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (12 \cdot 6 \cdot 3) = 178,3 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Густину газу визначаємо за формулою:

$$\rho_g = \frac{M}{V_g (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{16}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 0,665 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згорання визначаємо за формулою:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_{\Gamma}}{4} - \frac{n_O}{2} = 1 + \frac{4 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 2.$$

Стехіометричну концентрацію метану визначаємо за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36 \text{ \%}.$$

Маса газу, який надійшов у приміщення внаслідок аварії, визначаємо за формулою:

$$m_g = V_{\text{об.}} \cdot \rho_g = (V_a + V_T) \cdot \rho_g.$$

Об'єм газу, що виходить з апарата, визначаємо за формулою:

$$V_a = 0,01 \cdot P_p \cdot V = 0,01 \cdot 505 \cdot 10 = 50,5 \text{ м}^3.$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів, розраховуємо за формулою:

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів до його відключення, визначимо за формулою:

$$V_{1T} = q \cdot \tau_{\text{відкл.}}$$

Кількість газу, що надходить у приміщення за 1с, розраховуємо за формулою:

$$q = f \cdot v$$

де: f – площа отвору аварійного пошкодження, [м²]; v – швидкість витікання газу визначаємо за формулою:

$$v = 1,067 \cdot \sqrt{R \cdot T_{\text{роб}}} = 1,067 \cdot \sqrt{\frac{8314 \cdot 293}{16}} = 416,3 \text{ м/с.}$$

Площу отвору аварійного пошкодження f визначаємо за формулою:

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,00126 \text{ м}^2.$$

Інтенсивність надходження газу визначаємо за формулою:

$$q = f \cdot v = 0,00126 \cdot 416,2 = 0,523 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Кількість газу, що надійде до приміщення за 3 с (час відключення трубопроводів), визначаємо за формулою:

$$V_{1T} = q \cdot \tau_{\text{відкл}} = 0,523 \cdot 3 = 1,57 \text{ м}^3$$

Кількість газу, що надійде до приміщення після відключення, визначаємо за формулою:

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot \frac{d^2}{4} (l_1 + l_2) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 505 \cdot \frac{0,08^2}{4} \cdot (5 + 3) = 0,2 \text{ м}^3,$$

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} = 1,57 + 0,2 = 1,77 \text{ м}^3$$

Масу газу, що вийде з блока в результаті аварії, визначаємо за формулою:

$$m_e = (V_a + V_T) \cdot \rho_e = (50,5 + 1,77) \cdot 0,665 = 34,76 \text{ кг}$$

Визначаємо коефіцієнт K , що враховує роботу вентиляції, за формулою:

$$K = \frac{n}{3600} \cdot \tau + 1 = \frac{5}{3600} \cdot 3 + 1 = 1,0042$$

Масу газу, що надійшов у приміщення з врахуванням вентиляції, визначаємо за формулою:

$$m^* = \frac{m}{K} = \frac{34,76}{1,0042} = 34,61 \text{ кг}$$

Надлишковий тиск вибуху розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_r} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (706 - 101) \cdot \frac{34,61 \cdot 0,5}{172,8 \cdot 0,665} \cdot \frac{100}{9,36} \cdot \frac{1}{3} = 324,46 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. У приміщенні знаходиться горючий газ метан у такій кількості, що у випадку аварії може утворити вибухонебезпечну газоповітряну суміш, у разі займання якої утвориться розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, який перевищує 5 кПа. Приміщення станції для перекачування метану належить до вибухонебезпечної категорії А.

Задача 8.4. Визначити категорію приміщення розмірами 12х9х12м, у якому знаходиться апарат з етиленом об'ємом 10 м³, до якого підведено трубопроводи з внутрішнім діаметром 90 мм, довжина до засувки на підвідному трубопроводі 0,5 м, на відвідному 4,5 м, тиск у системі 244,42 кПа, продуктивність компресора 5·10⁻³ м³/с, кратність аварійної вентиляції 8 год⁻¹, відключення ручне, температура повітря у приміщенні 20°С.

Розв'язок

Для розрахунку приймемо такий варіант можливої аварійної ситуації: за найбільш небезпечну речовину у приміщенні візьмемо газ етилен; вважатимемо, що під час аварії внутрішній об'єм апарата був повністю заповнений; вважатимемо, що під час аварії продовжувалось надходження газу в приміщення протягом часу, необхідного для ручного перекриття засувок (300 с).

Надлишковий тиск вибуху визначимо за формулою:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_v \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для етилену він становить 830 кПа; P_0 – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4] вважатимемо рівним 101 кПа; $M_{п}$ – маса етилену, що виходить в приміщення, [кг]; Z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4] приймемо його рівним 0,5; V_v – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; $\rho_{п}$ – густина етилену, [кг/м³]; $C_{ст}$ – стехіометрична концентрація етилену, [% об.]; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4] приймемо рівним 3.

Вільний об'єм приміщення визначимо за формулою:

$$V_v = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (12 \cdot 9 \cdot 12) = 1036,8 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Густина етилену, який надійде у приміщення під час аварії в результаті роботи компресора визначимо за формулою:

$$\rho_e = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{28}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,164 \text{ кг/м}^3.$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначимо за формулою:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_{Г}}{4} - \frac{n_O}{2} = 2 + \frac{4 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 3.$$

Стехіометричну концентрацію етилену визначимо за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 3} = 6,44 \%$$

Об'єм газу, що виходить з апарата, визначимо за формулою:

$$V_a = 0,01 \cdot P_p \cdot V = 0,01 \cdot 244,42 \cdot 10 = 24,44 \text{ м}^3.$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів, розраховуємо за формулою:

$$V_{2т} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot \frac{d^2}{4} (l_1 + l_2) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 244,42 \cdot \frac{0,09^2}{4} \cdot (4,5 + 0,5) = 0,077 \text{ м}^3,$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів до відключення, визначимо за формулою:

$$V_{1т} = q \cdot \tau_{\text{відкл}} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 1,5 \text{ м}^3.$$

Об'єм газу, що вийшов з трубопроводів, визначимо за формулою:

$$V_t = 1,5 + 0,077 = 1,577 \text{ м}^3$$

Об'єм газу, який надійшов в результаті аварії у приміщення, визначаємо за формулою:

$$V_{\text{вл.}} = 24,44 + 1,577 = 26,017 \text{ м}^3$$

Масу газу, що може надійти у приміщення внаслідок аварії, визначаємо за формулою:

$$m_z = 26,017 \cdot 1,164 = 30,28 \text{ кг}$$

Коефіцієнт K , що враховує роботу вентиляції, визначаємо за формулою:

$$K = \frac{n}{3600} \cdot \tau + 1 = \frac{8 \cdot 300}{3600} \cdot 3 + 1 = 1,667$$

Масу газу, яка залишається у приміщенні з врахуванням вентиляції, визначаємо за формулою:

$$m^* = \frac{m}{K} = \frac{30,28}{1,667} = 18,16 \text{ кг}$$

Надлишковий тиск вибуху розраховуємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_r} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (830 - 101) \cdot \frac{18,16 \cdot 0,5}{1036,8 \cdot 1,164} \cdot \frac{100}{6,44} \cdot \frac{1}{3} = 28,39 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. У приміщенні у технологічному процесі знаходиться горючий газ етилен у такій кількості, що у випадку аварії може утворити вибухонебезпечну газоповітряну суміш, у разі займання якої утвориться розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який перевищує 5 кПа. Вказане приміщення належить до вибухонебезпечної категорії А.

Задача 8.5. Цех фарбування розташований в загальному виробничому приміщенні розміром 25 x 10 x 6м. В цеху знаходиться ванна для фарбування виробів методом занурення. Об'єм ванни 0,5 м³, ступінь заповнення 0,8. У технологічному процесі використовується фарба, що містить 60 % розчинника (ацетону), густина фарби $\rho = 1470$ кг/м³. Цех обладнаний загальною та аварійною вентиляцією (кратність обміну повітря аварійної вентиляції $A = 6$ год⁻¹), але об'єкт не належить до першої категорії за енергозабезпеченням. Розрахункова температура в приміщенні +20°C.

Визначити категорію виробничого приміщення.

Розв'язок

Для розрахунку приймемо такий варіант можливої аварійної ситуації:

- за найбільш небезпечну речовину у приміщенні візьмемо розчинник фарби – ацетон – ЛЗР з $T_{сп} = -5^\circ\text{C}$;
- вважатимемо, що під час аварії в приміщення виліється весь вміст ванни;
- на ділянці знаходиться конвеєр з пофарбованими виробами ($n=10$) розмірами 0,5 x 0,4 м, з яких випаровується розчинник.

Надлишковий тиск можливого вибуху визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m_n \cdot z}{V_n \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}$$

де: P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для парів ацетону він становить 572 кПа; P_o – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4] приймаємо рівним 101 кПа; m_n – маса парів ацетону, що знаходяться в приміщенні, з врахуванням роботи вентиляції, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4] приймемо його рівним 0,3; V_n – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_n – густина парів ацетону, [кг/м³]; $C_{ст}$ – стехіометрична концентрація ацетону, [% об.]; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4] приймаємо рівним 3.

Об'єм фарби, яка розлита в приміщенні під час аварії, визначимо за формулою:

$$V_{\phi} = V_v \cdot \varepsilon = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ м}^3 = 400 \text{ л}$$

де: V_v – геометричний внутрішній об'єм ванни, [м³]; $V_v = 0,5$ м³; ε – ступінь заповнення ванни; $\varepsilon = 0,8$.

Площу випаровування ацетону при його розливі з ванни визначимо за формулою:

$$F_p = k \cdot V_p = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ м}^2$$

де: k – коефіцієнт розливу рідини. Оскільки, у фарбі міститься 60 % розчинника (ацетону) відповідно до п.3.2(г) [4] 1 л фарби при розливі буде займати площу 0,5 м² і коефіцієнт k буде дорівнювати 0,5 м²/л.

Тиск насичених парів ацетону визначимо за формулою:

$$P_s = 133,322 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{C_A + t_p} \right)} = 133,322 \cdot 10^{\left(7,15058 - \frac{1281,721}{237,088 + 20} \right)} = 19,58 \text{ кПа}$$

де: А, В, С_А – константи Антуана: А=7,15058; В=1281,721; С_А=237,088; t_p – робоча температура, t_p=20 °С.

Швидкість повітря в приміщенні визначаємо за формулою:

$$u = \frac{A_0 \cdot l}{3600} = \frac{6 \cdot 25}{3600} = 0,04 \text{ м/с}$$

Коефіцієнт η, який враховує вплив швидкості та температури повітряного потоку на процес випаровування рідини відповідно до табл.3 [4], дорівнює η = 4,5.

Інтенсивність випаровування визначимо за формулою:

$$W_g = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s = 10^{-6} \cdot 4,5 \cdot \sqrt{58} \cdot 19,58 = 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Площу випаровування поверхні пофарбованих виробів визначаємо за формулою:

$$F_{\text{фарб.}} = l \cdot b \cdot n = 0,5 \cdot 0,4 \cdot 10 = 2 \text{ м}^2$$

де: l, b – розміри пофарбованих виробів, [м]; n – кількість пофарбованих виробів.

Загальну площа випаровування розчинника фарби визначаємо за формулою:

$$F_g = F_p + F_{\text{фарб.}} = 200 + 2 = 202 \text{ м}^2$$

Час повного випаровування з площі підлоги розлитої рідини визначаємо за формулою:

$$\tau_g = \frac{m_\phi}{W_g \cdot F_p} = \frac{588}{3,57 \cdot 10^{-4} \cdot 200} = 8,2 \cdot 10^3 \text{ с},$$

де: m_φ = V · ρ = 0,4 · 1470 = 588 кг.

Час випаровування τ_g = 8,2 · 10³ с, що перевищує 1 годину. Приймаємо у подальшому розрахунку час випаровування 1 година.

Масу парів рідини, що випарувалася з розливу і з поверхні пофарбованих виробів, визначаємо за формулою:

$$m_n = W_g \cdot F_g \cdot \tau = 6,7 \cdot 10^{-4} \cdot 202 \cdot 3600 = 487,2 \text{ кг}.$$

Роботу аварійної вентиляції не враховуємо, оскільки, об'єкт не належить до першої категорії за енергозабезпеченням.

Стехіометричну концентрацію парів ацетону визначаємо за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 \%$$

де: β – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння.

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4$$

де: n_c, n_n, n_o, n_x – число атомів С, Н, О та галогенів в молекулі ацетону (С₃Н₆О).

Вільний об'єм виробничого приміщення визначаємо за формулою:

$$V_g = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (25 \cdot 10 \cdot 6) = 1200 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Густина парів ацетону при заданій температурі визначаємо за формулою:

$$\rho_e = \frac{M}{V_t} = \frac{58}{24,04} = 2,41 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

де: M – молекулярна маса ацетону. Виходячи з хімічної формули ацетону ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), його молекулярна маса буде дорівнювати:

$$M = 3 \cdot 12 + 1 \cdot 6 + 16 = 58$$

V_t – об'єм 1 кг-моль пари при заданій температурі (м^3).

$$V_t = 22,4 \cdot \frac{T_p}{T_o} = 22,4 \cdot \frac{273 + 20}{273} = 24,04 \text{ м}^3$$

Надлишковий тиск можливого вибуху визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m_n \cdot z}{V_n \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (572 - 101) \cdot \frac{487,2 \cdot 0,3}{1200 \cdot 2,41} \cdot \frac{100}{4,91} \cdot \frac{1}{3} = 161,6 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. Оскільки, ацетон відноситься до легкозаймистих рідин з температурою спалаху $t_{\text{сп}} < 28^\circ\text{C}$ і надлишковий тиск можливого вибуху становить більше 5 кПа, то на підставі вимог п.2.2 та табл.1 [4], приміщення фарбувального цеху відноситься до категорії «А».

Задача 8.6. Визначити категорію приміщення насосної станції для перекачування етиленгліколю. Розміри приміщення: 8х6х5м, температура повітря у приміщенні 30°C , температура рідини 215°C , продуктивність насоса $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$, робочий тиск 2 атм. Довжина трубопроводів до насоса: підвідного 3 м, відвідного (напірного) 3 м, внутрішній радіус – 0,05 м, тривалість відключення трубопроводів 3 с.

Розв'язок

Як розрахунковий варіант аварії візьмемо ситуацію, коли відбулась розгерметизація трубопроводу.

Надлишковий тиск вибуху визначимо за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_v \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші [$\text{кг}/\text{м}^3$]; прийmemo 900 кПа; P_o – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4] приймаємо рівним 101 кПа; m_n – маса парів етиленгліколю, що знаходяться в приміщенні, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4], прийmemo його рівним 0,3; V_v – вільний об'єм виробничого приміщення, [м^3]; ρ_n – густина парів етиленгліколю, [$\text{кг}/\text{м}^3$]; $C_{\text{ст}}$ – стехіометрична концентрація етиленгліколю, [% об.]; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4], прийmemo рівним 3.

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_v = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (8 \cdot 6 \cdot 5) = 192 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Об'єм етиленгліколю, який може потрапити у приміщення під час розрахункової аварії, визначаємо за формулою:

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}$$

Об'єм етиленгліколю, який виходить із трубопроводів до їх відключення, визначаємо за формулою:

$$V_{1T} = q \cdot \tau_{\text{відкл.}} = 0,02 \cdot 3 = 0,06 \text{ м}^3$$

Об'єм етиленгліколю, який виходить із трубопроводів після їх відключення, визначаємо за формулою:

$$V_{2T} = \pi \cdot (r_1^2 \cdot l_1 + r_2^2 \cdot l_2) = 3,14 \cdot (0,05^2 \cdot 3 + 0,05^2 \cdot 3) = 0,0471 \text{ м}^3,$$

Об'єм етиленгліколю, який може потрапити у приміщення під час розрахункової аварії, визначаємо за формулою:

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} = 0,06 + 0,0471 = 0,107 \text{ м}^3 \text{ з температурою } 215^\circ\text{C}.$$

Масу етиленгліколю (рідини), що надходить у приміщення (без врахування зменшення об'єму завдяки охолодженню від температури кипіння до 30°C), визначаємо за формулою:

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho = (0,06 + 0,0471) \cdot 1113,1 = 119,21 \text{ кг},$$

де: $\rho = 1113,1 \text{ кг/м}^3$.

Теплоту перегрівання рідини визначаємо за формулою:

$$H_n = m_p \cdot C_p \cdot (t_{\text{рід.}} - t_k) = 119,21 \cdot 2,35 \cdot (215 - 197,3) = 4958,5 \text{ кДж},$$

де: $C_p = 2,35 \text{ кДж/кг} \cdot \text{K}$

Масу пари етиленгліколю, яка може утворитись через теплоту перегрівання, визначаємо за формулою:

$$m_n = \frac{H_n}{H_{\text{сун.}}} = \frac{4958,5}{812,2} = 6,1 \text{ кг},$$

де: $H_{\text{сун.}} = 812,2 \text{ кДж/кг}$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_{\Gamma}}{4} - \frac{n_O}{2} = 2 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{2}{2} = 2,5.$$

Стехіометричну концентрацію пари етиленгліколю визначаємо за формулою:

$$C_{\text{см}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2,5} = 7,63 \text{ \%}.$$

Густина пари етиленгліколю визначаємо за формулою:

$$\rho_z = \frac{M}{V_o(1+0,00367 \cdot t_p)} = \frac{62,07}{22,413 \cdot (1+0,00367 \cdot 30)} = 2,495 \text{ кг/м}^3 :$$

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (900 - 101) \cdot \frac{6,1 \cdot 0,3}{192 \cdot 2,495} \cdot \frac{100}{7,63} \cdot \frac{1}{3} = 13,34 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. У приміщенні знаходиться горюча рідина етиленгліколь ($t_{\text{спалаху}} = 111^\circ\text{C}$), яка нагріта вище температури спалаху і вище температури кипіння у такій кількості, що у випадку аварійної ситуації може утворити вибухонебезпечну пароповітряну суміш, у разі займання якої виникне розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який перевищує 5 кПа. Приміщення насосної з перекачування етиленгліколю відноситься до вибухонебезпечної категорії Б.

Задача 8.7. Насосна станція розташована в загальному виробничому приміщенні розміром 25x15x9м. В приміщенні знаходиться 8 насосів для перекачування нафти. Цех обладнаний загальною та аварійною вентиляцією (кратність обміну повітря аварійної вентиляції $A = 7 \text{ год}^{-1}$). Розрахункова температура в приміщенні $+20^\circ\text{C}$. Продуктивність насоса $100 \text{ м}^3/\text{год}$. Внутрішній об'єм насоса становить $0,5 \text{ м}^3$. Діаметр трубопроводу $d=0,4 \text{ м}$, відстань до засувки $L_1=L_2=3 \text{ м}$. Цех обладнаний загальною та аварійною вентиляцією (кратність обміну повітря аварійної вентиляції $A = 7 \text{ год}^{-1}$). Електропостачання здійснюється за першою категорією. Розрахункова температура в приміщенні $+20^\circ\text{C}$. Густина нафти $\rho = 935 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язок

Для розрахунку приймаємо такий варіант можливої аварійної ситуації:

- за найбільш небезпечну речовину у приміщенні візьмемо нафту – ЛЗР з $T_{\text{сп}} = 19^\circ\text{C}$;
- вважатимемо, що під час аварії внутрішній об'єм насоса був повністю заповнений;
- вважатимемо, що під час аварії продовжувалось надходження нафти в приміщення протягом часу, необхідного для автоматичного перекриття засувки (45 с).

Надлишковий тиск вибуху визначимо за формулою:

$$\Delta P = \frac{m_n \cdot H_m \cdot P_0 \cdot z}{V_g \cdot \rho_n \cdot C_n \cdot (t_n + 273)} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: H_m – теплота горіння нафти; за довідниковими даними $H_m = 43589,82 \text{ кДж/кг}$; P_0 – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4], допускається приймати рівним 101 кПа ; m_n – маса парів нафти, що знаходяться в приміщенні, з врахуванням роботи вентиляції, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та

таблиці 2 [4], приймаємо його рівним 0,3; V_n – вільний об’єм виробничого приміщення, $[m^3]$; ρ_n – густина повітря у приміщенні до вибуху при заданій температурі, $[kg/m^3]$; C_n – теплоємність повітря; на підставі п.3.6 [4], приймаємо рівною 1,010 кДж/кг · К; T_0 — абсолютна початкова температура в приміщенні до вибуху; за умовою дорівнює $+20^\circ C$ або 293 К; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4], приймаємо рівним 3.

Масу нафти, розлитої в приміщенні під час аварії визначаємо за формулою:

$$m_n^* = \left(V_n \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{in} \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jTP} f_{jTP} \right) \cdot \rho_n =$$

$$= (0,5 \cdot 1 + 0,03 \cdot 45 + 3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} + 3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4}) \cdot 935 = 2434,4 \text{ кг}$$

де: V_n – геометричний внутрішній об’єм насоса, $[m^3]$; $V_n = 0,5 m^3$; ε – ступінь заповнення насоса; $\varepsilon = 1$; q_{in} – продуктивність і-го насоса, $[m^3/c]$; $q_{in} = 100 m^3 / 3000 = 0,03 m^3 / c$; τ_i – тривалість відключення і-го збудника витрат, $[c]$; $\tau_i = 45 c$; l_{jTP} – довжина (м) j-ї ділянки трубопроводу; $l = 2m$; f_{jTP} – переріз j-ї ділянки трубопроводу, $[m^2]$; $f_{jTP} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 0,12 m^2$, де: d – діаметр трубопроводу, $[m]$; ρ_n – густина нафти при робочій температурі, $[kg/m^3]$; $\rho_n = 935 \text{ кг} / m^3$; n – кількість збудника витрат; $n = 1$; k – число ділянок трубопроводів; $k = 2$.

Визначаємо площу випаровування нафти при її розливі за формулою:

$$F_p = k \cdot V_n = 1,0 \cdot 2600 = 2600 m^2$$

де: V_n – об’єм розлитої нафти, $[m^3]$; $V_n = \frac{m_n^*}{\rho_n} = \frac{2434,4}{935} = 2,6 m^3 = 2600 \text{ л}$; k – коефіцієнт розливу рідин. Відповідно до п.3.2(г) [4], 1 л нафти при розливі буде займати площу $1,0 m^2$ і коефіцієнт k буде дорівнювати $1,0 m^2/\text{л}$.

Визначаємо площу приміщення:

$$F_{np} = L \cdot B = 25 \cdot 15 = 375 m^2$$

Оскільки, $F_{np} < F_p$, то приймаємо площу випаровування $F_e = 375 m^2$.

Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою:

$$W_e = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s = 10^{-6} \cdot 1,7 \cdot \sqrt{105} \cdot 21,7 = 3,78 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot c^{-1} \cdot m^{-2},$$

де: P_s – тиск насичених парів нафти, $[kPa]$; $P_s = 21,7 \text{ kPa}$; M – молекулярна маса парів нафти, $M = 105$; η – коефіцієнт, який враховує вплив швидкості та температури повітряного потоку на процес випаровування рідини; $\eta = 1,7$.

Визначається залежно від швидкості повітряного потоку: $u = \frac{A_e \cdot l}{3600} = \frac{7 \cdot 25}{3600} = 0,05 m \cdot c^{-1}$;

Визначаємо час повного випаровування з площі підлоги розлитої рідини:

$$\tau_g = \frac{m_n^*}{W_g F_g} = \frac{2434,4}{3,78 \cdot 10^{-4} \cdot 375} = 1,7 \cdot 10^4 \text{ с,}$$

τ_g перевищує 1 годину. Прийнемо у подальшому розрахунку час випаровування 1 година.

Масу парів рідини, що випарувалася з розливу, визначаємо за формулою:

$$m_n = W_g \cdot F_g \cdot \tau = 3,78 \cdot 10^{-4} \cdot 375 \cdot 3600 = 510,3 \text{ кг.}$$

Масу парів нафти, яка буде акумульована в приміщенні до моменту вибуху, розраховуємо враховуючи роботу вентиляції, оскільки, електропостачання об'єкта здійснюється за першою категорією:

$$m_n = \frac{m_n}{1 + \frac{A \cdot \tau}{3600}} = \frac{510,3}{1 + \frac{7 \cdot 45}{3600}} = 468,2 \text{ кг.}$$

Вільний об'єм виробничого приміщення визначаємо за формулою:

$$V_g = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (25 \cdot 15 \cdot 9) = 2700 \text{ м}^3,$$

де: L, B, H — довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Надлишковий тиск можливого вибуху визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{m_n \cdot H_m \cdot P_0 \cdot z}{V_g \cdot \rho_n \cdot C_n \cdot (t_n + 273)} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= \frac{468,2 \cdot 43589,82 \cdot 101 \cdot 0,3}{2700 \cdot 1,205 \cdot 1,01 \cdot (20 + 273)} \cdot \frac{1}{3} = 214,1 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. Оскільки, нафта належить до легкозаймистих рідин з температурою спалаху $t_{сп} < 28^\circ\text{C}$ і надлишковий тиск можливого вибуху становить більше 5 кПа, то, на підставі вимог п.2.2 та табл.1 [4], приміщення насосної станції відноситься до категорії «А».

Задача 8.8. Визначити категорію складського приміщення, де зберігаються балони із скрапленим газом. Складське приміщення має розміри – 15х10х5м. У приміщенні зберігаються балони з пропаном-бутаном 27 л, робочий тиск у балоні 1,6 МПа, маса скрапленого газу у балоні 21,2 кг. Температура у приміщенні 25 °С.

Розв'язок

Як розрахунковий варіант приймаємо розгерметизацію одного балона з пропаном.

Оскільки константи Антуана для пропану і для бутану дійсні для мінусового діапазону температур, а у балонах знаходилась суміш газів, надлишковий тиск вибуху визначається за формулою:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_g \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n}.$$

де: H_m – теплота згоряння суміші газів, [кДж/кг]; P_o – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4], допускається приймати рівним 101 кПа; m – маса газу, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4], приймаємо його рівним 0,3; V_v – вільний об’єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_p – густина повітря у приміщенні до вибуху при заданій температурі, [кг/м³]; C_n – теплоємність повітря; на підставі п.3.6 [4], приймаємо рівною 1,010 кДж/кг · К; T_o — абсолютна початкова температура в приміщенні до вибуху; за умовою вона дорівнює +20°C або 293 К; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4], приймаємо рівним 3.

Маса газу, що виходить із балона, дорівнює масі газу в балоні $m=21,2$ кг.

За розрахункову температуру приймаємо температуру 25 °С.

Співвідношення між пропаном і бутаном невідоме, тому розрахунки проводитимемо почергово за кожним з компонентів.

Теплота згоряння бутану в кДж/кг становить:

$$H_T = \frac{2657 \cdot 1000}{58,123} = 45713,4 \text{ кДж / кг.}$$

Теплота згоряння пропану в кДж/кг становить:

$$H_T = \frac{2044 \cdot 1000}{44,096} = 46353,4 \text{ кДж / кг.}$$

Вільний об’єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_v = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (15 \cdot 10 \cdot 5) = 600 \text{ м}^3$$

Густина повітря визначаємо за формулою:

$$\rho_p = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{29}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 25)} = 1,185 \text{ кг / м}^3.$$

Теплоємність повітря становить:

$$C_p = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж / кг} \cdot \text{К}$$

Надлишковий тиск вибуху бутану визначаємо за формулою:

$$\Delta P = \frac{21,2 \cdot 4,57134 \cdot 10^7 \cdot 101 \cdot 0,5}{600 \cdot 1,185 \cdot 1010 \cdot 298 \cdot 3} = 76,23 \text{ кПа}$$

Надлишковий тиск вибуху пропану визначаємо за формулою:

$$\Delta P = \frac{21,2 \cdot 4,63534 \cdot 10^7 \cdot 101 \cdot 0,5}{600 \cdot 1,185 \cdot 1010 \cdot 298 \cdot 3} = 77,3 \text{ кПа}$$

Чисельні значення надлишкового тиску вибуху пропану і бутану практично однакові та значно перевищують 5 кПа.

Відповідь. У складському приміщенні знаходиться горючий газ у балонах у такій кількості, що у випадку аварійної ситуації може утворитися газоповітряна вибухонебезпечна суміш, у разі займання якої розвинеться розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який перевищує 5 кПа. Приміщення складу для зберігання балонів із скрапленим газом пропан-бутаном відноситься до вибухонебезпечної категорії А.

Задача 8.9. Визначити категорію складського приміщення для зберігання бочок з ацетоном. У приміщенні зберігається десять бочок з ацетоном, об'єм бочки 84 л (0,084 м³). Розміри приміщення 11x10x6м, температура у приміщенні 20 °С.

Розв'язок

При визначенні надлишкового тиску вибуху у якості розрахункового варіанта аварії прийємо розгерметизацію однієї бочки і розливання ацетону по підлозі приміщення.

Надлишковий розрахунковий тиск вибуху визначаємо за формулою:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_v \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для парів ацетону він становить 572 кПа; P_0 – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4] приймаємо рівним 101 кПа; m_n – маса парів ацетону, що знаходяться в приміщенні, [кг]; Z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4], приймаємо його рівним 0,3; V_v – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_n – густина парів ацетону, [кг/м³]; $C_{ст}$ – стехіометрична концентрація ацетону, [% об.]; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4], приймаємо рівним 3.

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_v = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (11 \cdot 10 \cdot 6) = 528 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_G}{4} - \frac{n_O}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4.$$

Стехіометричну концентрацію парів ацетону визначаємо за формулою:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 \text{ \%}.$$

Густину пари ацетону визначаємо за формулою:

$$\rho_n = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 2,414 \text{ кг/м}^3.$$

Об'єм рідини, яка може потрапити у приміщення, дорівнює:

$$V_{\text{бл.}} = V \cdot \varepsilon = 0,084 \cdot 0,95 = 80 \text{ м}^3.$$

Така кількість рідини може розлитись на площі 80 м^2 . Фактична площа підлоги 120 м^2 . Для розрахунку приймаємо площу випаровування $F_g = 80 \text{ м}^2$. Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H.$$

Коефіцієнт η , який беремо з таблиці 2, дорівнює 1.

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою:

$$P_s = 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A} \right)} = 10^{\left(6,37551 - \frac{1281,21}{20 + 237,088} \right)} = 24,5 \text{ кПа}$$

Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58,08} \cdot 24,5 = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с},$$

Масу ацетону, що виливається, визначаємо за формулою:

$$m_{\text{розл.}} = V_{\text{бл.}} \cdot \rho_p = 0,08 \cdot 791 = 63,28 \text{ кг}.$$

Тривалість повного випаровування визначаємо за формулою:

$$\tau_g = \frac{m_p}{W \cdot F_g} = \frac{63,28}{1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 80} = 4230 \text{ с}$$

Приймаємо розрахункову тривалість випаровування, згідно з п.7.1.2 [4], – 3600 с.

Масу парів ацетону, що випаровується за розрахунковий час визначаємо за формулою:

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_{\text{вип}} = 1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 3600 = 53,86 \text{ кг},$$

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою:

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n} = (572 - 101) \cdot \frac{53,86 \cdot 0,3}{528 \cdot 2,414} \cdot \frac{100}{4,91} \cdot \frac{1}{3} = 40,45 \text{ кПа}$$

Відповідь. У складському приміщенні знаходиться ацетон у такій кількості, що у випадку аварійної ситуації може утворитися пароповітряна вибухонебезпечна суміш, у разі займання якої розвинеться розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який перевищує 5 кПа. Оскільки, $t_{\text{спалаху}}$ ацетону менша за 28°C , то приміщення складу для його зберігання віднесемо до вибухопожежонебезпечної категорії А.

Задача 8.10. Шліфувальна дільниця розташована в загальному виробничому приміщенні розміром $90 \times 30 \times 9 \text{ м}$. На дільниці обробляють вироби з ДСП, оздобленні дубовим шпоном з вологістю до 10%. Для обробки

використовують п'ять широкострічкових шліфувальних верстатів з продуктивністю шліфування 5 м² виробів на годину кожний та максимальною товщиною шару зішліфовки 0,5 мм. Дільниця обладнана загальною та місцевою витяжною вентиляцією з коефіцієнтом ефективності 0,7, але об'єкт не відноситься до 1 категорії за енергозабезпеченням. Режим роботи підприємства двозмінний по 8 годин на зміну. Поточне прибирання проводиться 1 раз на добу, генеральне – 1 раз на місяць. Розрахункова температура в приміщенні +20°C. Визначити категорію виробничого приміщення.

Розв'язок

Для розрахунку приймаємо такий варіант можливої аварійної ситуації: за найбільш небезпечну речовину у приміщенні вважатимемо пил деревини з нижньою концентраційною межею розповсюдження полум'я від 12,6 до 25 г/м³; до моменту аварії відбувалось максимальне нагромадження пилу на підлозі та обладнанні, яке може бути при нормальних режимах роботи; на час аварії одночасно працюють всі 5 верстатів дільниці; аварійне відключення шліфувальних верстатів – ручне; загальна та місцева вентиляція відключені, оскільки об'єкт не відноситься до 1 категорії за енергозабезпеченням; розрахункова температура в приміщенні становить +20°C.

Надлишковий тиск можливого вибуху визначимо за формулою:

$$\Delta P = \frac{M \cdot H_m \cdot P_o \cdot z}{V_v \cdot \rho_n \cdot C_n \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n}$$

де: M – маса пилу, яка знаходиться у зваженому стані в приміщенні під час аварії, [кг]; H_m – теплота горіння деревини дубових порід; за довідниковими даними дорівнює 19 874 кДж/кг; P_o – початковий тиск в приміщенні; на підставі п.3.5 [4], становить 101 кПа; z – коефіцієнт участі зваженого пилу у вибуху; на підставі п.3.12 [4], приймаємо його 0,5; V_v – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_n – густина повітря у приміщенні до вибуху при заданій температурі, [кг/м³]; за довідниковими даними густина повітря при температурі +20°C дорівнює 1,205 кг/м³; C_n – теплоємність повітря; на підставі п.3.6 [4], прийmemo її рівною 1,010 кДж/кг·К; T_o – абсолютна початкова температура в приміщенні до вибуху, [К]; за завданням дорівнює +20°C або 293 К; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння, на підставі п.3.5 [4], прийmemo рівним 3.

Продуктивність шліфувального верстата за пилом визначимо за формулою:

$$q = \rho \cdot b \cdot Q = 710 \cdot 0,0005 \cdot 0,00139 = 0,00049 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де: ρ – густина деревини дуба; за довідниковими даними при вологості 10% вона дорівнює 710 кг/м³; b – товщина зішліфованого шару, [м]; приймаємо за максимальним значенням 0,5 мм або 0,0005 м; Q – продуктивність шліфувального верстата по площі обробки. За завданням вона становить 5 м²/год або 0,00139 м²/с.

Масу пилю, що надійде в приміщення із верстатів під час аварії, визначаємо за формулою:

$$M_{ав} = (M_{ан} + n \cdot q \cdot T_{ав}) \cdot K_n = (0 + 5 \cdot 0,00049 \cdot 300) \cdot 1 = 0,735 \frac{кг}{с}$$

де: $M_{ан}$ – маса пилю, що нагромадилась в апаратах і вийде в приміщення під час аварії; оскільки, в шліфувальних верстатах відсутні бункери нагромадження пилю, значення $M_{ан}$ буде дорівнювати 0; n – кількість шліфувальних верстатів; за завданням на дільниці працюють 5 верстатів; q – продуктивність шліфувального верстата за пилом; за розрахунком вона дорівнює 0,00049 кг/с; $T_{ав}$ – час відключення верстатів при аварії; відповідно до вимог п.3.15 та п.3.2 [4] при ручному відключенні цей час буде дорівнювати 300 с; K_n – коефіцієнт пилення, що враховує частку пилю, який вийде із верстатів та перейде у зважений стан; відповідно до вимог п.3.14 [4], цей коефіцієнт буде дорівнювати 1.

Масу пилю, що нагромадилась в приміщенні з часу останнього поточного прибирання, визначаємо за формулою:

$$M_1 = (1 - K_в) \cdot n \cdot q \cdot K_з \cdot T_{пр} = \\ = (1 - 0,7) \cdot 5 \cdot 0,00049 \cdot 0,75 \cdot 57600 = 31,75 \text{ кг}$$

де: $K_в$ – коефіцієнт ефективності роботи вентиляції, що враховує частку пилю, який вилучається при роботі; за завданням він дорівнює 0,7; n – кількість шліфувальних верстатів; за завданням на дільниці працюють 5 верстатів; q – продуктивність шліфувального верстата ШЛП за пилом, [кг/с]; за розрахунком вона дорівнює 0,00049 кг/с; $K_з$ – коефіцієнт завантаження верстатів, що враховує час їх безперервної роботи; з технічної характеристики верстатів з врахуванням часу та періодичності зміни шліфувальної шкурки він буде дорівнювати 0,75; $T_{пр}$ – робочий час між поточними прибираннями; з врахуванням двозмінного режиму роботи підприємства він буде дорівнювати 16 годинам або 57 600 с.

Масу пилю, що нагромадилась в приміщенні з часу останнього генерального прибирання, визначаємо за формулою:

$$M_2 = M_1 \frac{1 - (1 - K_{пр})^n}{K_{пр}} = 31,75 \frac{1 - (1 - 0,6)^{22}}{0,6} = 52 \text{ кг}$$

де: M_1 – маса пилю, що нагромаджується в приміщенні за час між поточними прибираннями, [кг]; за розрахунком вона дорівнює 31,75 кг; $K_{пр}$ – коефіцієнт ефективності прибирання, що враховує частку пилю, який вилучається з приміщення під час поточного прибирання; для розрахунку приймаємо найбільш неефективне сухе прибирання і на підставі п.3.16 [4] визначаємо, що він буде дорівнювати 0,6; n – кількість поточних прибирань між генеральними, при 23 робочих днях на місяць вона буде дорівнювати 22.

Загальну масу пилю, що може нагромадитися у приміщенні на час аварії, визначаємо за формулою:

$$M_n = M_1 + M_2 = 31,75 + 52,92 = 84,67 \text{ кг}$$

Масу звихреного під час аварії пилу із нагромадженого в приміщенні визначаємо за формулою:

$$M_{зв} = K_{зв} \cdot M_n = 0,9 \cdot 84,67 = 76,2 \text{ кг}$$

де: $K_{зв}$ – коефіцієнт звихрення, що враховує частку пилу, яка здатна переходити у завислий стан; відповідно до вимог п.3.14 [4], він може дорівнювати 0,9.

Загальну масу пилу, яка буде знаходитись у звихреному стані під час аварії, визначаємо за формулою:

$$M = M_{зв} + M_{ав} = 76,2 + 0,735 = 76,935 \text{ кг}$$

Вільний об'єм виробничого приміщення визначаємо за формулою:

$$V_v = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (90 \cdot 30 \cdot 9) = 19440 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Надлишковий тиск можливого вибуху визначаємо за формулою:

$$\Delta P = \frac{M \cdot H_m \cdot P_o \cdot z}{V_v \cdot \rho_n \cdot C_n \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n} = \frac{76,935 \cdot 19874 \cdot 101 \cdot 0,5}{19440 \cdot 1,205 \cdot 1,010 \cdot 293} \cdot \frac{1}{3} = 3,7 \text{ кПа}$$

Відповідь. Таким чином, загальне виробниче приміщення, де розташована шліфувальна дільниця, не може бути віднесене до категорії «Б», оскільки надлишковий тиск можливого вибуху становить менше 5 кПа; відносимо його до категорії «В».

Задача 8.11. Запроектоване акумуляторне приміщення будинку зв'язку об'ємом $V_{прим} = 27,2 \text{ м}^3$ обладнують акумуляторною батареєю СК-4 з 12 акумуляторів та акумуляторною батареєю СК-1 з 13 акумуляторів. Максимальна абсолютна температура повітря в районі будівництва 38 °С. Визначити категорію приміщення.

Розв'язок

За розрахунковий варіант візьмемо одночасний заряд всіх батарей, що знаходяться в акумуляторному приміщенні, з найбільшим значенням зарядного струму, що перевищує в чотири рази максимально допустимий.

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою:

$$\Delta P = (P_{max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_v \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші (кПа); приймається 900 кПа; P_o – початковий тиск в приміщенні, [кПа]; відповідно до вимог п.3.5 [4], приймаємо рівним 101 кПа; m_n – маса водню, який надійде в приміщення, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.3.5 та таблиці 2 [4], приймаємо його рівним 0,5; V_v – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_n – густина водню, [кг/м³]; $C_{ст}$ – стехіометрична концентрація водню, [% об.]; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадібатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4], приймемо рівним 3.

Густина водню при розрахунковій температурі повітря визначимо за формулою:

$$\rho_r = \frac{2}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 38)} = 0,0783 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$$

Об'єм водню, що надійшов в акумуляторне приміщення при заряді двох батарей СК-4 і СК-1, визначаємо за формулою:

$$V_H = \frac{1,036 \cdot 10^{-8}}{0,0783} [4 \cdot 9 \cdot 13 + 4 \cdot 36 \cdot 12] \cdot 3600 = 1,046 \text{ м}^3;$$

Вільний об'єм акумуляторного приміщення визначаємо за формулою:

$$V_B = 0,8 \cdot V_{\text{прим}} = 0,8 \cdot 27,2 = 21,76 \text{ м}^3$$

Надлишковий тиск вибуху водню в акумуляторному приміщенні визначаємо за формулою:

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{1,046 \cdot 1,0 \cdot 100 \cdot 1}{21,76 \cdot 29,24 \cdot 3} = 43,78 \text{ кПа.}$$

Оскільки розрахунковий надлишковий тиск вибуху більше 5 кПа, то у відповідності з табл.8.1, акумуляторне приміщення слід віднести до категорії А.

Розрахуємо надлишковий тиск вибуху водню в акумуляторному приміщенні з врахуванням роботи аварійної вентиляції.

При кратності повітрообміну, що створюється аварійною вентиляцією, рівною 8 год^{-1} , об'єм водню, що надійшов в приміщення, становить:

$$V_H^* = \frac{V_H}{A / 3600 \cdot T + 1} = \frac{1,046}{8 + 1} = 0,116 \text{ м}^3.$$

Надлишковий тиск вибуху при цьому буде рівний:

$$\Delta P = (900 - 101) \cdot \frac{0,116 \cdot 1,0 \cdot 100 \cdot 1}{21,76 \cdot 29,24 \cdot 3} = 4,86 \text{ кПа.}$$

При кратності повітрообміну, $A = 8 \text{ год}^{-1}$ в приміщенні з вільним об'ємом $V_B = 21,76 \text{ м}^3$ достатньо вилучення повітря аварійною вентиляцією:

$$V_{\text{ав}} = A \cdot V_B = 8 \cdot 21,76 = 174 \approx 180 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Відповідь. При обладнанні акумуляторного приміщення аварійною вентиляцією з кратністю повітрообміну $A=8 \text{ год}^{-1}$, допускається не відносити акумуляторне приміщення до категорії А. Згідно табл.8.1, при тиску вибуху менше 5 кПа, акумуляторне приміщення слід віднести до категорії В.

Задача 8.12. В будівлі поста діагностики автотранспортного підприємства може знаходитися один вантажний автомобіль. Основне пожежне навантаження автомобіля становлять такі матеріали: гума, паливо, мастила, штучні полімерні матеріали. Середні значення кількості вказаних матеріалів для вантажного автомобіля такі: гума – 118,4 кг, дизельне паливо – 120 кг, мастила – 18 кг, пінополіуретан – 4 кг, поліетилен – 1,8 кг, поліхлорвініл – 2,6 кг, картон – 2,5 кг, штучна шкіра – 9 кг. Загальна маса горючих матеріалів 276,3 кг. Мінімальна відстань від поверхні пожежного навантаження до покриття H становить 0,5 м.

Визначити категорію приміщення.

Розв'язок

За таблицею 26 додатків визначимо нижню теплоту згоряння матеріалів. Нижня теплота згоряння мастила – 41,87 МДж/кг, гуми – 33,52

МДж/кг, дизельного палива – 43,59 МДж/кг, пінополіуретану – 24,3 МДж/кг, поліетилену – 47,14 МДж/кг, поліхлорвінілу – 14,31 МДж/кг, картону – 13,4 МДж/кг, штучної шкіри – 17,76 МДж/кг.

Розрахуємо пожежне навантаження і питоме пожежне навантаження на ділянках. Пожежне навантаження обчислимо за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p = 18 \cdot 41,87 + 118,4 \cdot 33,52 + 120 \cdot 43,59 + 4 \cdot 24,3 + 1,8 \cdot 47,14 + 2,5 \cdot 13,4 + 9 \cdot 17,76 + 2,6 \cdot 14,31 = 10\,365,8 \text{ МДж}$$

де: G_i – кількість i -го матеріалу з пожежного навантаження, [кг]; Q_i^p – нижня теплота згоряння i -го матеріалу з пожежного навантаження, [МДж/кг].

Площа розташування пожежного навантаження $S=10\text{м}^2$. Питома пожежне навантаження становить:

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{10365,8}{10} = 1036,6 \text{ МДж/м}^2,$$

де: Q – пожежне навантаження, [МДж]; S – площа розташування матеріалів пожежного навантаження, [м^2].

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007, приміщення з таким пожежним питомим навантаженням слід віднести до категорії В.

Перевіримо умову розташування пожежного навантаження в приміщенні:

$$Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2.$$

де: g_T – питома пожежне навантаження, [МДж/м²]; H – мінімальна відстань від поверхні пожежного навантаження до нижнього пояса ферм перекриття (покриття), [м].

Після підстановки чисельних значень отримаємо:

$$0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 1036,6 \cdot 0,5^2 = 166 \text{ МДж}.$$

Відповідь. Оскільки $Q=10356,8$ МДж і умова $Q=10356,8 \text{ МДж} \geq 166 \text{ МДж}$ виконується, приміщення відноситься до категорії В.

Задача 8.13. Визначити категорію приміщення колісного цеху вагоноремонтного заводу. Максимальне пожежне навантаження на ділянці розташування колісно-накатних верстатів розміром в плані $S = 5,085 \cdot 2,45 = 12,5 \text{ м}^2$, обладнаних піддонами, що містять 250 л турбінного масла (ємність гідробака 250 л). Максимальна відстань між верстатами $L_1 = 2,5$ м. Площа піддона дорівнює площі верстата в плані.

Розв'язок

Згідно з п.7.6.4 НАПБ Б.03.002-07 [4], за ділянку розташування питомого пожежного навантаження приймається площа піддона, яка дорівнює $12,5 \text{ м}^2$. Використовуючи довідкові дані про густину турбінного масла, визначимо його масу: $G = 0,25 \cdot 900 = 225$ кг.

Пожежне навантаження обчислимо за формулою (23):

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p = 225 \cdot 41,87 = 9420 \text{ МДж}$$
 і питоме пожежне навантаження за формулою:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{9420}{12,5} = 754 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$$

Відповідь. Оскільки, питоме пожежне навантаження $g = 754 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, що значно перевищує $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, то згідно з п.7.6.1. НАПБ Б.03.002-07, відносимо його до категорії В.

Задача 8.14. Визначити категорію приміщення комплектувальної комори площею $18 \times 3 \text{ м}$ і висотою до перекриття $H=3 \text{ м}$. В коморі зберігається 90 кг гумотехнічних виробів і 30 кг деталей деревини на площі 10 м^2 .

Розв'язок

Визначаємо пожежне навантаження за формулою, використовуючи дані табл.26 додатків:

$$g = \frac{Q}{S} = \frac{33,52 \cdot 90 + 30 \cdot 13,8}{10} = \frac{3431}{10} = 343,1 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$$

Відповідь. Оскільки питоме пожежне навантаження $g = 343,1 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, що перевищує $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, то, згідно з п.7.6.1. НАПБ Б.03.002-07, приміщення комплектувальної комори відносимо до категорії В.

Задача 8.15. Визначити категорію складського приміщення. Складське приміщення є багатостележним складом, у якому зберігаються на металевих стелажах негорючі матеріали у картонних коробках. У кожному із десяти рядів стелажів міститься десять ярусів, у кожному ярусі шістнадцять відсіків, у кожному з відсіків зберігається по три картонні коробки, маса картону яких по 1 кг . Верхня позначка зберігання картонних коробок на стелажах дорівнює 5 м , висота приміщення від підлоги до перекриття $7,2 \text{ м}$. Довжина стелажа становить 48 м , ширина $1,2 \text{ м}$, відстань між рядами стелажів $2,8 \text{ м}$. Відстань від верхньої позначки пожежного навантаження (від коробок верхнього ярусу) до плит перекриття становить $7,2 \text{ м} - 5 \text{ м} = 2,2 \text{ м}$.

Визначити категорію складського приміщення.

Розв'язок

Площа розташування пожежного навантаження в одному ряду стелажів (площа ділянки) становить: $48 \text{ м} \times 1,2 \text{ м} = 57,6 \text{ м}^2$. У складському приміщенні знаходиться 10 ділянок площею по $57,6 \text{ м}^2$ кожна, відстань між якими становить $2,8 \text{ м}$.

Маса картону, що знаходиться у одному ряду стелажі становить: $10 \text{ ярусів} \times 16 \text{ відсіків} \times 3 \text{ коробки} \times 1 \text{ кг} = 480 \text{ кг}$.

Нижня теплота згоряння картону становить $13,4 \text{ МДж/кг}$.

Пожежне навантаження в одному ряду стелажів обчислимо за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p = 480 \cdot 13,4 = 6432 \text{ МДж.}$$

де: G_i – кількість i -го матеріалу з пожежного навантаження, [кг]; Q_i^p – нижня теплота згоряння i -го матеріалу з пожежного навантаження, [МДж/кг].

Питоме пожежне навантаження в одному ряду стелажів обчислимо за формулою:

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{6432}{57,6} = 111,7 \text{ МДж/м}^2.$$

де: Q – пожежне навантаження, [МДж]; S – площа розташування матеріалів пожежного навантаження, [м²].

Згідно з таблицею 1 НАПБ Б.03.002-07 [4], така величина пожежного навантаження відповідає приміщенню категорії Д. У приміщенні складу таких ділянок знаходиться 10 і площа кожної з них перевищує 10 м².

Згідно з інформаційним листом [34], максимальна площа ділянки для приміщення категорії Д за висоти від пожежної навантаження до перекриття, рівної 2,2 м, обчислюється за формулою (28): $S_{гр} = 0,64 \cdot H^2 = 0,64 \cdot 2,2^2 = 3,1 \text{ м}^2$. У даному випадку площа ділянки становить 57,6 м².

Тому до категорії Д таке приміщення віднести не можна, а його можна віднести до категорії В за умови, що спосіб розташування пожежного навантаження відповідає відповідним вимогам, які викладені у інформаційному листі [34].

У даному складському приміщенні мінімальна відстань від поверхні пожежного навантаження до перекриття (Н) становить 2,2 м (7,2 м – 5 м = 2,2 м).

Визначаємо чи виконується умова нерівності формули НАПБ Б.03.002-07 [4]: $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2$

$$0,64 \cdot 180 \cdot 2,2^2 = 557,7 \text{ МДж.}$$

Відповідь. Оскільки $Q=6432 \text{ МДж}$ і умова $Q=6432 \text{ МДж} \geq 557,7 \text{ МДж}$ виконується, приміщення складу відноситься до категорії В.

Задача 8.16. У складському приміщенні зберігається картон. Розміри приміщення: 24×20×6м. Визначити кількість картону, що може зберігатись на одиниці площі ділянки приміщення, граничну площу окремої ділянки, за яких приміщення складу буде відноситись до категорії В або Д.

Розв'язок

Нижня питома теплота згоряння картону становить 13,4 МДж/кг. Згідно з інформаційним листом [34], гранична площа окремої ділянки у приміщеннях категорії Д, на якій дозволяється розташування пожежного навантаження, визначається за формулою:

$$S_{гр} = 0,64 \cdot H^2,$$

де: H – відстань від поверхні пожежного навантаження до перекриття, м.

За умовою задачі відстань H дорівнює 6 м (висота приміщення).

$$S_{ep} = 0,64 \cdot H^2 = 0,64 \cdot 6^2 = 23 \text{ м}^2.$$

Гранична площа окремої ділянки у приміщенні категорії Д висотою від пожежного навантаження до перекриття 6 м становить 23 м².

Для того, щоб приміщення складу відносилось до категорії Д необхідно, щоб на кожному квадратному метрі цієї ділянки, згідно з таблицею 1 НАПБ Б.03.002-07 [4], було розташоване питоме пожежне навантаження (g) величиною, що не перевищує 180 МДж/м².

Гранична відстань між цими ділянками (l_{gp2}) у приміщенні категорії Д, згідно з п. 7.6.5 НАПБ Б.03.002-07 [4], визначається за формулою:

$$l_{gp2} = l_{gp1} + (11 - H),$$

де: l_{gp1} – гранична відстань між ділянками, яка залежить від критичної поверхневої густини падаючих променистих потоків для різних горючих речовин та матеріалів за висоти приміщення 11 м.

Для картону критична поверхнева густина падаючих променистих потоків становить 10,8 кВт·м⁻² і, згідно з табл. 4 НАПБ Б.03.002-07 [4], l_{gp1} дорівнює 8 м. Визначаємо l_{gp2} :

$$l_{gp2} = l_{gp1} + (11 - H) = 8 + (11 - 6) = 13 \text{ м}.$$

Для того, щоб приміщення складу відносилось до категорії Д, необхідно, щоб мінімальна відстань між окремими ділянками площею не більше 23 м² з питомим пожежним навантаженням не більше 180 МДж/м² становила 13 м.

Якщо ж площу окремої ділянки збільшити на 1 м² до 24 м², то буде виконуватись нерівність $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2$.

Максимальне пожежне навантаження на площі 24 м² становить $Q = 180 \cdot 24 = 4320$ МДж.

$$0,64 \cdot g_t \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2 \text{ МДж}.$$

Оскільки $Q = 4320$ МДж і умова $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2$ МДж виконується, то приміщення складу необхідно віднести до категорії В.

Розрахуємо цю нерівність для ділянки площею 23 м². Максимальне пожежне навантаження на площі 23 м² становить $Q = 180 \cdot 23 = 4140$ МДж.

$0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2$ МДж. Оскільки $Q = 4140$ МДж і умова $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2$ МДж не виконується, то приміщення складу необхідно віднести до категорії Д.

Кількість картону, який може бути розташований на 1 м² ділянки складського приміщення категорії Д, становить: $m = \frac{180}{13,4} = 13,43$ кг.

Відповідь. Маса картону, який може бути розташований на 1 м² ділянки складського приміщення категорії Д, становить: $m = 13,43$ кг.

Задача 8.17. У приміщенні виробничої лабораторії розташовані: шафавитяжна хімічна, стіл для аналітичних вагів, два стільці. У лабораторії можна виділити одну ділянку площею 10 м^2 , на якій розташовані дерев'яний стіл і два дерев'яні стільці. Загальна маса дерев'яних матеріалів на вказаній ділянці становить 47 кг , інших горючих матеріалів на ділянці немає. Інших ділянок з пожежним навантаженням у лабораторії немає.

Визначити категорію приміщення виробничої лабораторії.

Розв'язок

Нижня теплота згоряння для деревини становить $13,8 \text{ МДж/кг}$.

Пожежне навантаження на ділянці обчислюємо за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p = 47 \cdot 13,8 = 648,6 \text{ МДж.}$$

де: G_i – кількість i -го матеріалу з пожежного навантаження, кг ; Q_i^p – нижня теплота згоряння i -го матеріалу з пожежного навантаження, МДж/кг .

Питоме пожежне навантаження на ділянці обчислюється за формулою:

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{648,6}{10} = 64,9 \text{ МДж/м}^2.$$

Згідно з таблицею 1 [4] НАПБ Б.03.002-07, приміщення з таким пожежним навантаженням необхідно віднести до категорії Д. Оскільки у приміщенні лабораторії немає інших ділянок з пожежним навантаженням, приміщення лабораторії відноситься до категорії Д.

Відповідь. Приміщення лабораторії відноситься до категорії Д.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

8.1. Визначити, до якої категорії відноситься приміщення розмірами $A \times B \times H \text{ м}$, у якому знаходиться апарат об'ємом $V \text{ м}^3$, трубопроводи з внутрішнім діаметром $d \text{ м}$, довжина до засувки на підвідному трубопроводі $l_1 \text{ м}$, на відвідному – $l_2 \text{ м}$. Тиск у системі $P_{\text{роб}} \text{ МПа}$. Кратність повітрообміну $A \text{ год}^{-1}$. Забезпечено резервування елементів автоматики, що від'єднують подавання газу. Коефіцієнт вільного об'єму $K=80\%$. Температура повітря у приміщенні $t_p \text{ }^\circ\text{C}$.

Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.5.

Таблиця 8.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	етан		аміак		етилен		пропан		бутан	
$P_{\text{роб}}, \text{ МПа}$	2,0	4,5	8,0	0,6	10,0	1,5	4,0	2,5	6,0	32,0
$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	25	22	20	18	24	21	19	16	23	17
$V_v, \text{ м}^3$	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0
$A, \text{ год}^{-1}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Вид рідини	Бензин А-72 (зимовий)	Бензин АИ-93 (зимовий)	Бензин авіаційний Б-70	Дизельне паливо «З»	Дизельне паливо «Л»	Гас освітлювальний	Гас освітлювальний	Уайт-спірит	Масло трансформаторне	Масло АМТ-300Т
Об'єм посудини V, л	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Ступінь заповнення ϵ	0,9	0,75	0,8	0,85	0,95	0,7	0,8	0,7	0,75	0,95
Кількість посудин N, шт.	4	6	8	10	12	5	7	9	11	13
$t_p, ^\circ\text{C}$	25	24	22	20	18	23	21	19	18	24
Розміри приміщення LxVxH, м	20x10x4		18x12x5		16x16x4		12x12x6		25x20x7	

8.4. Шліфувальна дільниця розташована в загальному виробничому приміщенні розміром А x В x Н м. На дільниці обробляються вироби з ДСП, оздобленні буковим шпоном з вологістю до 10%. Для обробки використовуються N широкострічкових шліфувальних верстатів з продуктивністю шліфування q м² виробів на годину кожний та максимальною товщиною шару зішліфовки h мм. Дільниця обладнана загальною та місцевою витяжною вентиляцією з коефіцієнтом ефективності 0,7, але об'єкт не відноситься до 1 категорії за енергозабезпеченням. Режим роботи підприємства однозмінний по 8 годин на зміну. Поточне прибирання проводиться 1 раз на добу, генеральне – 1 раз на місяць. Розрахункова температура повітря в приміщенні $t_{\text{пов.}}$ °С.

Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.8.

Таблиця 8.8

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продуктивністю $q, \text{м}^2/\text{год}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,015	0,025	0,035	0,045	0,055
Товщина шару h, мм	5	5	5	4	3	4	2	2	1	2

$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	18	20	22	24	26	17	19	21	23	25
Розміри приміщення $L \times B \times H, \text{м}$	30x20x6		25x25x5		40x30x4		35x25x6		25x20x5	

8.5. Дільниця обробки зерна знаходиться в загальному виробничому приміщенні розміром $A \times B \times H$ м. На дільниці знаходиться циклон для відокремлення зернового пилу в системі вентиляції. Маса зернового пилу, що нагромаджується в циклоні, становить m кг. Продуктивність циклона за пилом q хв^{-1} . Час автоматичного від'єднання циклона τ с. Дільниця обладнана загальною та місцевою витяжною вентиляцією з коефіцієнтом ефективності 0,8, але об'єкт не відноситься до 1 категорії за енергозабезпеченням. Режим роботи підприємства двозмінний по 8 годин на зміну. Поточне прибирання проводиться 2 рази на добу, генеральне – 1 раз на місяць. Розрахункова температура в приміщенні $t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$. Пилоприбирання в приміщенні – ручне вологе. Частка горючого пилу в загальній масі відкладень $K_r = 0,8$. Початкові дані, які необхідні для розрахунку, приведені в таблиці 8.9.

Таблиця 8.9

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продуктивністю циклона, $q, \text{хв}^{-1}$	70	80	90	100	110	75	85	95	105	115
Маса зернового пилу, $m, \text{кг}$	10	15	20	25	30	12	17	22	27	32
Час від'єднання циклона, $\tau, \text{с}$	80	70	60	50	40	80	70	60	50	40
$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	21	20	18	17	25	24	23	22	21	20
Розміри приміщення $L \times B \times H, \text{м}$	30x20x5		25x25x6		40x30x5		35x25x6		25x20x5	

8.6. Акумуляторне приміщення будинку зв'язку, що проектується, об'ємом $V_{\text{прим.}} \text{ м}^3$ буде обладнане акумуляторною батареєю СК-1 з N_1

акумуляторів та акумуляторною батареєю СК-4 з N_2 акумуляторів. Максимальна абсолютна температура повітря в районі будівництва $t_{пов}$, °С.

Визначити категорію приміщення. Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.10.

Таблиця 8.10

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм приміщення $V_{прим}$, M^3	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Кількість акумуляторів батареї СК-1 (N_1), шт	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Кількість акумуляторів батареї СК-4 (N_2), шт	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$t_{пов}$, °С	18	20	22	24	26	17	19	21	23	25

8.7. В гаражі автотранспортного підприємства знаходяться вантажні автомобілі (N шт.). Основне пожежне навантаження автомобіля становлять такі матеріали: гума, бензин, мастила, ледерин, поліетилен, картон. Площа розташування пожежного навантаження S m^2 . Середні значення кількості вказаних матеріалів для одного вантажного автомобіля наведені в таблиці 8.11. Визначити категорію приміщення.

Таблиця 8.11

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Маса гуми, кг	105,5	110,4	113,7	118,4	120,6	122,3	126,1	128,5	128,8	129,6
Маса бензину, кг	135	130	125	120	115	114	112	110	108	105
Маса мастила, кг	12	14	15	16	17	18	19	13	11	12
Маса ледерину, кг	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8
Маса	5,5	6,9	7,5	8,6	5,8	7,3	8,4	9,1	9,5	9,8

пінополі- ретану, кг										
Маса поліети- лену, кг	1,6	1,8	2,4	2,6	3,1	1,7	1,9	2,5	2,8	3,0
Маса картону, кг	2,6	2,8	2,9	2,7	2,9	3,0	2,5	2,6	2,7	2,8
Площа розташу- вання пожежног о наванта- ження S , m^2	8	20	35	50	60	15	25	40	45	65
Кількість автомо- блів	1	3	5	7	9	2	4	6	8	10

8.8. Визначити категорію складського приміщення. Складське приміщення є багатостележним складом у якому передбачено зберігання на металевих стелажах негорючих матеріалів у картонних коробках. У кожному із N_1 рядів стелажів міститься N_2 ярусів, у кожному ярусі N_3 відсіків, у кожному з відсіків зберігається по чотири картонні коробки, маса картону у яких по 2 кг. Верхня позначка зберігання картонних коробок на стелажах дорівнює 5 м, висота приміщення від підлоги до перекриття h . Довжина стелажа становить l , ширина – b , відстань між рядами стелажів – c . Відстань від верхньої позначки пожежного навантаження (від коробок верхнього ярусу) до плит перекриття становить $(h - 5 \text{ м})$.

Визначити категорію складського приміщення. Необхідні для розрахунку дані наведені в табл. 8.12.

Таблиця 8.12

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість рядів стелажів,шт	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
Кількість ярусів стелажів,шт	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9
Кількість відсіків, шт	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12
Висота приміщення	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8

від підлоги до перекриття h , м										
Довжина стелажа l , м	5,5	6,9	7,5	8,6	5,8	7,3	8,4	9,1	9,5	9,8
Ширина стелажа b , м	1,6	1,8	2,4	2,6	3,1	1,7	1,9	2,5	2,8	3,0
Відстань між рядами стелажів c , м	2,6	2,8	2,9	2,7	2,9	3,0	2,5	2,6	2,7	2,8

8.9. У складському приміщенні зберігається картон. Розміри приміщення: $A \times B \times H$ м. Визначити кількість картону, що може зберігатись на одиниці площі ділянки приміщення, граничну площу окремої ділянки, за яких приміщення складу буде відноситись до категорії В або Д. Необхідні для розрахунку дані наведені в табл.8.13.

Таблиця 8.13

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A , м	24	20	16	12	25	20	15	10	18	27
B , м	30	24	18	12	30	24	18	12	20	22
H , м	6	5	4	3	6	5	4	3	5	4

8.10. У виробничому цеху знаходяться дерев'яні матеріали, загальна маса яких m кг. Вказані матеріали розташовані на ділянці площею S м². Інших ділянок з пожежним навантаженням у цеху немає.

Визначити категорію приміщення виробничого цеху. Дані для розрахунку взяти з таблиці 8.14.

Таблиця 8.14

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S , м ²	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
m , кг	32	36	38	42	46	50	65	78	84	97

8.11. У складському приміщенні знаходяться горючі речовини, які зберігаються в металевих бочках. Кількість бочок N . Маса горючих речовин в кожній бочці становить m кг, інше пожежне навантаження відсутнє. Нижня теплота згоряння для горючих речовин наведена в табл. 26. При визначенні надлишкового тиску вибуху ΔP в якості розрахункового варіанта аварії візьмемо розгерметизацію однієї бочки з горючими рідинами і надходження їх в приміщення. За розрахункову температуру візьмемо температуру повітря – t_p .

Визначити категорію приміщення виробничого цеху. Дані для розрахунку взяти з таблиці 8.15.

Таблиця 8.15

№ варіанта	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10
Вид речовини	н-Бутанол		Метанол		н-Пропанол		Толуол		Етил-бензол		
Кількість бочок, N	5	4	6	7	8	9	10	8	5	8	
Маса горючих речовин, т, кг	20	30	25	35	40	20	30	25	35	40	
$t_p, ^\circ\text{C}$	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	

8.12. Виробниче приміщення, у якому здійснюється фасування сипкого горючого матеріалу, має розміри – $A \times B \times H$ м. В приміщенні розташований змішувач, одночасно у який завантажується дисперсний матеріал масою m кг. Дисперсний матеріал характеризується високою пожежною небезпекою. Значна кількість пилоподібного матеріалу в змішувачі і часте пилоприбирання в приміщенні дають можливість при обґрунтуванні розрахункового варіанта аварії знехтувати пиловідкладеннями на підлозі, стінах та інших поверхнях.

Визначити категорію приміщення. Теплота згоряння горючого дисперсного матеріалу наведена в **табл.26** додатків. Дані для розрахунку взяти з таблиці 8.16.

Таблиця 8.16

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Довжина приміщення A , м	30	40	35	45	50	60	55	65	30	40
Ширина приміщення B , м	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30
Висота приміщення H , м	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3
Вид порошко-подібного матеріалу	Барвник олійний 5С		Барвник 9-78Ф п/е		Барвник фталоціано-тен 4 «З»М		Полі-етилен		Полі-пропілен	
Маса матеріалу m , кг	100	150	200	250	300	350	400	450	220	275

3.2. КАТЕГОРІЇ БУДИНКІВ ТА ОКРЕМИХ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ВІДСІКІВ ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ І ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

За вибухопожежною та пожежною небезпекою будинки поділяють на категорії А, Б, В, Г та Д. В окремих випадках за вибухопожежною і пожежною небезпекою категоруються не весь будинок, а його протипожежні відсіки, які є частинами будинку та відокремлені один від одного протипожежною стіною по всій висоті та ширині (або довжині) будинку. При цьому такі протипожежні стіни повинні спиратися на фундаменти або фундаментні балки і перетинати всі конструкції та поверхи будинку.

1. Будинок категорії А

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії А, якщо у ньому сумарний об'єм приміщень категорії А перевищує 5% загального об'єму будинку (протипожежного відсіку), тобто:

$$\sum V_A \geq 5\% \sum V_{\text{прим.}} \quad (9.1)$$

2. Будинок категорії Б

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії Б, якщо одночасно виконуються дві умови:

а) будинок (протипожежний відсік) не відноситься до категорії А;

б) сумарний об'єм приміщень категорії А і Б перевищує 5 % сумарного об'єму будинку або протипожежного відсіку, тобто:

$$\sum V_{A, B} \geq 5\% \sum V_{\text{прим.}} \quad (9.2)$$

3. Будинок категорії В

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії В, якщо одночасно виконуються дві умови:

а) будинок (протипожежний відсік) не відноситься до категорії А чи Б;

б) сумарний об'єм приміщень категорії А, Б і В перевищує 5 % (10%, якщо в будинку відсутні приміщення категорій А і Б) сумарного об'єму будинку або протипожежного відсіку, тобто:

$$\sum V_{A, B, B} \geq 5\% \sum V_{\text{прим.}} \quad (9.3)$$

в) якщо в будинку відсутні приміщення категорій А і Б, сумарний об'єм приміщень категорії В перевищує 10% сумарного об'єму будинку або протипожежного відсіку, тобто:

$$\sum V_B \geq 10\% \sum V_{\text{прим.}} \quad (\text{без приміщень категорії А і Б}) \quad (9.4)$$

4. Будинок категорії Г

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії Г, якщо одночасно виконуються дві умови:

а) будинок (протипожежний відсік) не відноситься до категорії А, Б чи В;

б) сумарний об'єм приміщень категорій А, Б, В і Г перевищує 5 % об'єму будинку або протипожежного відсіку, тобто:

$$\sum V_{A, B, B, \Gamma} \geq 5\% \sum V_{\text{прим.}} \quad (9.5)$$

5. Будинок категорії Д

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії Д, якщо він не відноситься до категорії А, Б, В чи Г.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 9.1. Виробничий шестиповерховий будинок. Загальна площа приміщень будинку $F = 9000 \text{ м}^2$, висота поверху $h=4 \text{ м}$. В будинку знаходяться приміщення категорії А сумарною площею $F_A = 500 \text{ м}^2$.

Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Перевіримо, чи належить будинок до категорії А.

Об'єм будинку – $V_{\text{бvd}} = F \cdot h = 9000 \cdot 4 = 36000 \text{ м}^3$. Об'єм приміщення категорії А – $V_A = F_A \cdot h = 500 \cdot 4 = 2000 \text{ м}^3$, що становить 5,55 % від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum V_A > 5\%$, то, згідно з п.4.1. НАПБ Б.03.002-07, будинок належить до категорії А.

Відповідь. Будинок належить до категорії А.

Задача 9.2. Виробничий шестиповерховий будинок. Загальна площа приміщень будинку $F = 32000 \text{ м}^2$, висота поверху $h=4 \text{ м}$. Площа приміщень категорії А становить $F_A = 150 \text{ м}^2$, категорії Б – $F_B = 1800 \text{ м}^2$. Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Перевіримо, чи належить будинок до категорії А.

Об'єм будинку – $V_{\text{бвд}} = F \cdot h = 32000 \cdot 4 = 128000 \text{ м}^3$. Об'єм приміщення категорії А – $V_A = F_A \cdot h = 150 \cdot 4 = 600 \text{ м}^3$, що становить 0,47 % від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum V_A < 5\%$, то, згідно з п.4.1. НАПБ Б.03.002-07, будинок не належить до категорії А.

Перевіримо, чи належить будинок до категорії Б.

Об'єм приміщення категорії Б – $V_B = F_B \cdot h = 1800 \cdot 4 = 7200 \text{ м}^3$. Сумарний об'єм приміщень категорій А і Б становить: $V_A + V_B = 600 + 7200 = 7800 \text{ м}^3$, що в сумі становить 6,1 % від загального об'єму будинку.

Оскільки, $\sum V_{A,B} > 5\%$, то, згідно з п.4.1. НАПБ Б.03.002-07, будинок належить до категорії Б.

Відповідь. Будинок належить до категорії Б.

Задача 9.3. Виробничий восьмиповерховий будинок. Загальна площа приміщень будинку $F = 40000 \text{ м}^2$, висота поверху $h=4$ м. В будинку відсутні приміщення категорій А і Б. Площа приміщень категорій В становить $F_B = 8000 \text{ м}^2$.

Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Перевіримо, чи належить будинок до категорії В.

Об'єм будинку – $V_{\text{бвд}} = F \cdot h = 40000 \cdot 4 = 160000 \text{ м}^3$. Об'єм приміщення категорії В – $V_B = F_B \cdot h = 8000 \cdot 4 = 32000 \text{ м}^3$, що становить 20 % від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum V_B > 10\%$, то, згідно з п.4.3. НАПБ Б.03.002-07, будинок належить до категорії В.

Відповідь. Будинок належить до категорії В.

Задача 9.4. Виробничий триповерховий будинок. Загальна площа приміщень будинку $F = 12000 \text{ м}^2$, висота поверху $h=6$ м. Площа приміщень категорій Б становить $F_B = 180 \text{ м}^2$, категорій В – $F_B = 5000 \text{ м}^2$.

Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Перевіримо, чи належить будинок до категорії Б.

Об'єм будинку – $V_{\text{бвд}} = F \cdot h = 12000 \cdot 6 = 72000 \text{ м}^3$. Об'єм приміщення категорії Б – $V_B = F_B \cdot h = 180 \cdot 6 = 1080 \text{ м}^3$, що становить 1,5 % від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum V_B < 5\%$, то, згідно з п.4.2. НАПБ Б.03.002-07, будинок не належить до категорії Б.

Перевіримо, чи належить будинок до категорії В.

Об'єм приміщення категорії В – $V_B = F_B \cdot h = 5000 \cdot 6 = 30000 \text{ м}^3$. Сумарний об'єм приміщень категорій Б і В становить: $V_B + V_B = 1080 + 30000 = 31080 \text{ м}^3$, що в сумі становить 43,2 % від загального об'єму будинку.

Оскільки, $\sum V_{Б,В} > 5\%$, то, згідно з п.4.3. НАПБ Б.03.002-07, будинок належить до категорії В.

Відповідь. Будинок належить до категорії В.

Задача 9.5. Виробничий шестиповерховий будинок. Загальна площа приміщень будинку $F = 30000 \text{ м}^2$, висота поверху $h=6 \text{ м}$. Приміщення категорій А і Б в будинку відсутні. Площа приміщень категорій В становить $F_B = 1800 \text{ м}^2$, категорії Г – $F_G = 2000 \text{ м}^2$.

Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Перевіримо, чи належить будинок до категорії В.

Об'єм будинку – $V_{\text{ов}} = F \cdot h = 30000 \cdot 6 = 180000 \text{ м}^3$. Об'єм приміщення категорії В – $V_B = F_B \cdot h = 1800 \cdot 6 = 10800 \text{ м}^3$, що становить 6 % від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum V_B > 5\%$, то, згідно з п.4.2. НАПБ Б.03.002-07, будинок належить до категорії В.

Відповідь. Будинок належить до категорії В.

Задача 9.6. Виробничий п'ятиповерховий будинок. Загальна площа приміщень будинку $F = 25000 \text{ м}^2$, висота поверху $h=3 \text{ м}$. Приміщення категорій А і Б в будинку відсутні. Площа приміщень категорій В становить $F_B = 200 \text{ м}^2$, категорії Г – $F_G = 1200 \text{ м}^2$, категорії Д – $F_D = 23800 \text{ м}^2$.

Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Визначаємо об'єм будинку – $V_{\text{ов}} = F \cdot h = 25000 \cdot 3 = 75000 \text{ м}^3$.

Перевіримо, чи належить будинок до категорії В.

Об'єм приміщення категорії В – $V_B = F_B \cdot h = 200 \cdot 3 = 600 \text{ м}^3$, що становить 0,8 % від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum V_B < 5\%$, то, згідно з п.4.2. НАПБ Б.03.002-07, будинок не належить до категорії В.

Перевіримо, чи належить будинок до категорії Г.

Об'єм приміщення категорії Г – $V_G = F_G \cdot h = 1200 \cdot 3 = 3600 \text{ м}^3$. Сумарний об'єм приміщень категорій Б і В становить: $V_B + V_G = 600 + 3600 = 4200 \text{ м}^3$, що в сумі становить 5,6 % від загального об'єму будинку.

Оскільки, $\sum V_{Б,Г} > 5\%$, то, згідно з п.4.3. НАПБ Б.03.002-07, будинок належить до категорії Г.

Відповідь. Будинок належить до категорії Г.

Задача 9.7. Промисловий двоповерховий будинок. Загальний об'єм будинку – 60000 м^3 . У будинку відсутні приміщення категорій А і Б. Об'єм приміщень категорії В становить 32000 м^3 .

Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Перевіримо, чи належить будинок до категорії В.

Сумарний об'єм приміщень категорій В становить 53,3 %, що значно перевищує 10 %.

Згідно з Нормами НАПБ Б.03.002-07, будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії В, якщо одночасно виконуються дві умови:

будинок або протипожежний відсік не відноситься до категорій А або Б;

сумарний об'єм приміщень категорій В перевищує 10% (якщо в будинку відсутні приміщення категорій А і Б) загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

Відповідь. Виробничий будинок належить до категорії В.

Задача 9.8. Виробничий двоповерховий будинок. Загальний об'єм приміщень будинку Б дорівнює 2000 м^3 . Загальний об'єм приміщень становить 80000 м^3 . Об'єм приміщень категорій А і Б становить 3600 м^3 категорії В – 16000 м^3 . Сумарний об'єм приміщень категорій А, Б і В становить 19600 м^3 .

Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Сумарний об'єм приміщень категорій А і Б становить 3600 м^3 або у відсотках 4,5 % від загального об'єму приміщень, що не перевищує 5 %. Отже, за Нормами будинок не відноситься до категорій А чи Б.

Сумарний об'єм приміщень категорій А, Б і В становить 19600 м^3 , що становить 24,5 % і перевищує 5 % від загального об'єму.

Відповідь. Виробничий будинок належить до категорії В.

Задача 9.9. Виробничий двоповерховий будинок. Загальний об'єм приміщень будинку становить 60000 м^3 . Об'єм приміщень категорії А становить 3200 м^3 категорії Б – 2400 м^3 . Об'єм приміщень будинку категорії В становить 5200 м^3 .

Визначити категорію будинку.

Розв'язок

Об'єм приміщень категорії А становить 3200 м^3 , що становить 5,33 % від загального об'єму приміщень у будинку.

Відповідь. Об'єм приміщень категорії А становить 5,33 %, що перевищує 5% за Нормами [4]. Зважаючи на це будинок відносимо до категорії А.

Задача 9.10. У двоповерховому виробничому будинку меблевого комбінату загальною площею 3500 м^2 , висотою поверху 4 м знаходяться такі приміщення: шліфувальне відділення (категорія Б) площею 140 м^2 ; складальний цех (категорія В) площею 750 м^2 ; фарбувальне відділення (категорія А) площею 50 м^2 ; решта – адміністративно-побутові приміщення.

Визначити категорію виробничого будинку.

Розв'язок

Визначаємо об'єм будинку – $V_{\text{бвд}} = F \cdot h = 3500 \cdot 4 = 14000 \text{ м}^3$.

компресорного відділення (S_2), m^2	250	300	200	150	250	250	350	225	250	150
Площа моторного цеху (S_3), m^2	500	650	550	400	500	650	650	500	450	350
Площа цеху для ремонту балонів (S_4), m^2	300	250	250	350	300	300	400	350	250	350

9.2. У деревообробному цеху заводу для ремонту і технічного обслуговування рухомого складу, який розташований у двоповерховому будинку загальною площею S_1 m^2 , висота поверху – h м, знаходяться такі приміщення: відділення антисептування (категорія Б) площею S_2 m^2 ; верстатне відділення із складом готової продукції (категорія В) площею S_3 m^2 ; клейоприготувальне відділення (категорія А) площею S_3 m^2 ; складальний цех (категорія В) площею S_4 m^2 ; фарбувальне відділення (категорія А) площею S_5 m^2 ; решта – адміністративно-побутові приміщення.

Визначити категорію виробничого будинку. Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальна площа будинку, S_1 m^2	3200		3500		3000		3600		2800	
Висота поверху, м	3	4	5	3	4	5	3	4	5	4
Площа відділення антисептування S_1 , m^2	500	550	600	650	400	725	750	775	300	350
Площа верстатного відділення (S_2), m^2	900	950	1100	1200	800	950	1250	1100	800	760
Площа клейоприготувальне відділення (S_3), m^2	350	250	380	320	350	330	340	360	380	400
Площа складального цеху (S_4), m^2	800	950	600	650	780	600	650	850	750	650

Площа фарбувального відділення (S_5), m^2	450	350	350	400	350	380	450	300	350	340
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Задача 9.3. Виробничий багатоповерховий будинок. Площа одного поверху будинку $S = 32000 m^2$, висота поверху h м. Площа приміщень категорії А становить $S_A = 150 m^2$, категорії Б – $S_B = 1800 m^2$, категорії В – $S_B = 1800 m^2$, категорії Г – $S_G = 1800 m^2$, категорії Д – $S_D = 1800 m^2$, решта – адміністративно-побутові приміщення.

Визначити категорію виробничого будинку. Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 9.3.

Таблиця 9.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість поверхів	1	2	3	4	4	4	2	3	4	3
Висота поверху h , м	5	4	3	3	3	5	4	3	3	3
Площа поверху будинку (S), m^2	3000		1000		800		2000		700	
Площа приміщень категорії А (S_A), m^2	550	850	600	650	400	725	750	975	300	350
Площа приміщень категорії Б (S_B), m^2	600	950	1100	1200	800	950	1250	1100	800	260
Площа приміщень категорії В (S_B), m^2	350	750	380	320	350	330	440	1460	380	400
Площа приміщень категорії Г (S_G), m^2	800	1200	600	650	780	600	650	970	750	650
Площа приміщень категорії Д (S_D), m^2	450	950	350	400	670	380	450	860	350	340

3.3. КАТЕГОРІЇ ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ ТА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

За вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішні установки поділяють на категорії А_з, Б_з, В_з, Г_з та Д_з.

Категорії зовнішніх установок за пожежною небезпекою приймають за таблицею 10.1

Таблиця 10.1

Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою

Категорія зовнішньої установки	Критерії віднесення зовнішньої установки до тієї або іншої категорії за пожежною небезпекою
А_з вибухо- пожежо- небез- печна	Установка відноситься до категорії А _з якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази; легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28°C; речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і /або один з одним. Горизонтальний розмір зони, що обмежує газопароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я, перевищує 30 м (даний критерій застосовується тільки для горючих газів і парів) і/або розрахунковий надлишковий тиск у разі згоряння газо-, паро-повітряної суміші, речовин і/або матеріалів, які здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 5 кПа.
Б_з вибухо- пожежо- небез- печна	Установка відноситься до категорії Б _з , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючий пил і/або волокна; легкозаймисті рідини з температурою спалаху більше 28°C; горючі рідини. Горизонтальний розмір зони, що обмежує пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я, перевищує 30 м (даний критерій застосовується тільки для горючих парів) і/або розрахунковий надлишковий тиск у разі згоряння газо-, паро- або пилоповітряної суміші на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 5 кПа.

В_з пожежо- небез- печна	Установка відноситься до категорії В _з , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, горючі пил і волокна, тверді горючі і/або важкогорючі речовини і матеріали, а також речовини і/або матеріали, які здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним вибухати і горіти або тільки горіти за умови, що установка не відноситься до категорій А _з , або Б _з . Інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 4 кВт·м ⁻² .
Г_з	Установка відноситься до категорії Г _з , якщо в ній знаходяться (обертаються) негорючі речовини і/або матеріали в гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і/або полум'я, а також горючі гази, рідини і/або тверді речовини, які спалюються або утилізуються в якості палива
Д_з	Установка відноситься до категорії Д _з , якщо вона не відноситься до категорій А _з , Б _з , В _з , Г _з .

Визначення категорій зовнішніх установок слід здійснювати шляхом послідовної перевірки їх належності до категорій, які наведені у таблиці 10.1 від вищої (А_з) до нижчої (Д_з). Як вказано у таблиці 10.1. одними з критеріїв, за яким зовнішня установка відноситься до певної категорії, є горизонтальний розмір зони, що обмежує газопароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я, розрахунковий надлишковий тиск у разі загоряння газо-, паро- або пилоповітряної суміші та інтенсивність теплового випромінювання від осередку пожежі.

Вибір та обґрунтування розрахункового варіанта

Під час розрахунку значень критеріїв зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою як розрахунковий варіант слід обирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість найбільш небезпечних речовин чи матеріалів.

Кількість речовин, які надійшли, і які можуть утворювати горючі газоповітряні або пароповітряні суміші, визначається виходячи з таких передумов:

- а) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів;
- б) весь вміст апарата надходить до навколишнього простору;
- в) відбувається одночасно витік речовин із трубопроводів, які живлять апарат за прямим та зворотнім потоком протягом часу, який необхідний для перекривання трубопроводів.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів визначається в кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, і має бути мінімальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої, характеру технологічного процесу та виду розрахункової аварії.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів слід приймати рівним:

- часу спрацювання системи автоматики перекривання трубопроводів відповідно до паспортних даних установки, якщо забезпечується резервування її елементів;

- 120 с, якщо у системі автоматики не забезпечується резервування її елементів;

- 300 с, у разі ручного перекривання.

Не допускається використання технічних засобів для перекривання трубопроводів, для яких час перекривання перевищує наведені вище значення.

Під "часом спрацювання" і "часом перекривання" слід розуміти проміжок часу від початку можливого надходження горючої речовини з трубопроводу (перфорація, розрив, зміна номінального тиску тощо) до повного припинення надходження газу або рідини назовні. Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подачу газу або рідини у разі порушення електропостачання;

г) відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася; площа випаровування при розливі на горизонтальну поверхню визначається (у разі відсутності довідкових або інших експериментальних даних), виходячи з розрахунку, що 1 л сумішей і розчинів, що містять 70% і менше (за масою) розчинників, розливається на площі 0,1 м², а інших рідин – на 0,15 м²;

д) відбувається також випаровування рідин з апаратів, які експлуатуються з відкритим дзеркалом рідини, та з свіжопофарбованих поверхонь;

є) тривалість випаровування рідини приймається рівною часу її повного випаровування, але не більше 3600 с.

Розрахункові формули для визначення критеріїв вибухопожежної небезпеки зовнішніх установок

1. Відстані $X_{НКМП}$, $Y_{НКМП}$ і $Z_{НКМП}$ розраховуються за формулами:

$$X_{НКМП} = K_1 \cdot L \cdot \left(K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{НКМП}} \right)^{0,5}, \quad (10.1)$$

$$Y_{НКМП} = K_1 \cdot S \cdot \left(K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{НКМП}} \right)^{0,5}, \quad (10.2)$$

$$Z_{НКМП} = K_3 \cdot H \cdot \left(K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{НКМП}} \right)^{0,5}, \quad (10.3)$$

де: K_1 – коефіцієнт, який приймається рівним 1,1314 для горючих газів і 1,1958 для легкозаймистих рідин; K_2 – коефіцієнт, який приймається рівним 1 для горючих газів і $\tau/3600$ для легкозаймистих рідин; K_3 – коефіцієнт, який

приймається рівним 0,0253 для горючих газів за відсутності руху повітря; 0,02828 для горючих газів при руху повітря; 0,04714 для легкозаймистих рідин за відсутності руху повітря і 0,3536 для легкозаймистих рідин при рухливому повітряному середовищі; H – висота приміщення, [м]; δ – допустиме відхилення концентрації за рівня значущості приймається згідно з таблицею 8 додатка до Норм [4]. Рівень значущості Q ($C > C$) вибирається, виходячи з особливостей технологічного процесу. Допускається приймати значення Q рівним 0,05.

2. Концентрація насиченої пари горючої рідини, % (об) визначається за формулою:

$$C_n = 100 \cdot \frac{P_n}{P_o} \quad (10.4)$$

3. Передекспоненціальний множник, % (об):

для пари горючої рідини за відсутності руху горючого середовища визначається за формулою:

$$C_o = C_n \cdot \left(\frac{m \cdot 100}{C_n \cdot \rho_n \cdot V_{вільн}} \right)^{0,41}, \quad (10.5)$$

для горючих газів за відсутності руху повітря визначається за формулою:

$$C_o = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_\Gamma \cdot V_{вільн}}, \quad (10.6)$$

для горючих газів у разі руху повітря визначається за формулою:

$$C_o = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{m}{\rho_\Gamma \cdot V_{вільн} \cdot U}, \quad (10.7)$$

для парів легкозаймистих рідин у разі руху повітря визначається за формулою:

$$C_o = C_n \cdot \left(\frac{m \cdot 100}{C_n \cdot \rho_n \cdot V_{вільн}} \right)^{0,46}, \quad (10.8)$$

4. Величину надлишкового тиску для зовнішніх установок, [кПа], що розвивається у разі згоряння газопароповітряних сумішей, визначають за формулою:

$$\Delta P = P_o \cdot (0,8 \cdot m_{\Gamma P}^{0,33} / r + 3 \cdot m_{\Gamma P}^{0,66} / r^2 + 5 \cdot m_{\Gamma P} / r^3) \quad (10.9)$$

де: P_o – атмосферний тиск, [кПа] (допускається приймати 101 кПа); r – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, [м].

5. Наведена маса газу або пари, кг, обчислюється за формулою:

$$m_{\Gamma P} = (H_n / H_o) \cdot m \cdot Z \quad (10.10)$$

де: H_n – питома теплота згоряння газу або пари, [Дж/кг]; Z – коефіцієнт участі горючих газів і парів у горінні, який допускається брати рівним 0,1; H_o – константа, рівна $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; m – маса горючих газів і (або) парів, які надійшли в результаті аварії до навколишнього простору, [кг].

6. Горизонтальний розмір зони, [м], що обмежує область концентрацій ГГ, парів ЛЗР і ГР, які перевищують нижню концентраційну межу займання, визначається за формулою:

$$R_{HKMP} = 14,5632 \cdot \left(\frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{HKMP}} \right)^{0,333} \quad (10.11)$$

7. Імпульс хвилі тиску, [Па·с], визначається за формулою:

$$i = 123 \cdot \frac{m_{np}^{0,66}}{r}, \quad (10.12)$$

де r – відстань від центра пилоповітряної хмари, м; m_{np} – приведена маса горючого пилу, кг.

8. Інтенсивність випаровування з поверхні розливу горючих речовин на зовнішніх установках визначається за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (10.13)$$

де: M – молярна маса, [г·моль⁻¹]; P_H – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини, [кПа].

9. Горизонтальний розмір зони R_{HKMP} , [м], область концентрацій парів легкозаймистих рідин, які перевищують нижню концентраційну межу займання не нагрітих вище температури навколишнього середовища, визначається за формулою:

$$R_{HKMP} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_H}{C_{HKMP}} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{m_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot P_H} \right)^{0,333} \quad (10.14)$$

10. Коефіцієнт Z участі горючих газів і парів легкозаймистих рідин у вибуху за заданим рівнем значущості Q ($C > C_{сер.}$), розраховується за формулами:

$$\text{при } X_{HKMP} \leq \frac{1}{2}L \text{ та } Y_{HKMP} \leq \frac{1}{2}S$$

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \cdot \rho_{\Gamma, \Pi} \left(C_0 + \frac{C_{HKMP}}{\delta} \right) \cdot X_{HKMP} \cdot Y_{HKMP} \cdot Z_{HKMP} \quad (10.15)$$

$$\text{при } X_{HKMP} > \frac{1}{2}L \text{ та } Y_{HKMP} > \frac{1}{2}S$$

$$Z = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \cdot \rho_{\Gamma, \Pi} \left(C_0 + \frac{C_{HKMP}}{\delta} \right) \cdot F \cdot Z_{HKMP} \quad (10.16)$$

11. Висоту полум'я H , [м], обчислюють за формулою:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M_v}{\rho_n \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (10.17)$$

де: M_v – питома масова швидкість вигорання палива, $[\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}]$; ρ_n – густина навколишнього повітря, $[\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$; $g=9,81 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ – прискорення вільного падіння.

12. Кутовий коефіцієнт опромінення F_q визначають за формулою:

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2}, \quad (10.18)$$

де: F_v, F_H – фактори опромінення для вертикальної і горизонтальної поверхонь відповідно, які визначаються за допомогою нижченаведених формул:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}}\right) \right\} \right], \quad (10.19)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}}\right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}}\right) \right], \quad (10.20)$$

$$A = (h^2 + S^2 + 1)/(2 \cdot S), \quad (10.21)$$

$$B = (1 + S^2)/(2 \cdot S), \quad (10.22)$$

$$S = 2 \cdot r / d, \quad (10.23)$$

$$h = 2 \cdot H / d, \quad (10.24)$$

13. Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу визначається за формулою:

$$\tau = \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d_{ef})\right] \quad (10.25)$$

14. Значення кутового коефіцієнта опромінення F_q обчислюють за формулою:

$$F_q = \frac{H/D_s + 0,5}{4 \cdot \left[(H/D_s + 0,5)^2 + (r/D_s)^2 \right]^{1,5}}, \quad (10.26)$$

де: H – висота центра "вогняної кулі", $[\text{м}]$; D_s – ефективний діаметр "вогняної кулі", $[\text{м}]$; r – відстань від об'єкта, що опромінюється, до точки на поверхні землі безпосередньо під центром "вогняної кулі", $[\text{м}]$.

15. Ефективний діаметр "вогняної кулі" D_s , $[\text{м}]$, визначається за формулою:

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327}, \quad (10.27)$$

де: m – маса горючої речовини, [кг].

16. Час існування “вогняної кулі” t_s , [с], визначається за формулою:

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303} \quad (10.28)$$

17. Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ розраховують за формулою:

$$\tau = \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2\right)\right] \quad (10.29)$$

Методика розрахунку категорії зовнішньої установки з горючим газом, горючим пилом, легкозаймистими та горючими рідинами

1. Обґрунтування розрахункового варіанта найбільш несприятливого з точки зору вибуху періоду.

2. Розрахунок маси горючих газів, горючого пилу, легкозаймистих та горючих рідин, які виділяються в атмосферу при розрахунковій аварії.

3. Розрахунок розмірів зони, яка обмежує газо-, пило- і пароповітряні суміші з концентрацією горючого вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКМПП).

4. Розрахунок надлишкового тиску вибуху (ΔP) у відкритому просторі.

5. Визначення інтенсивності теплового випромінювання від вогнища пожежі на відстані 30 м.

6. Висновок про категорію зовнішньої установки за вибухопожежною і пожежною небезпекою.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 10.1. Визначити категорію зовнішньої установки, у якій знаходиться газгольдер з метаном об'ємом 20 м^3 з підвідним трубопроводом з внутрішнім діаметром 80 мм та довжиною до засувки 5 м, відвідним трубопроводом з внутрішнім діаметром 80 мм та довжиною до засувки 3 м. Тиск у системі 7 атм. Продуктивність компресора $q = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$. Температура повітря і газу 30°C . Відключення трубопроводів автоматичне (тривалість відключення трубопроводів $\tau_T = 3 \text{ с}$), забезпечено резервування елементів автоматики.

Розв'язок

Для визначення надлишкового тиску вибуху у якості розрахункового варіанта аварії візьмемо розгерметизацію газгольдера з метаном з подальшим виходом газу із газгольдера та трубопроводів і утворенням газоповітряної вибухонебезпечної суміші.

Величину розрахункового надлишкового тиску ΔP , [кПа], що розвивається у разі займання газоповітряної суміші, визначаємо за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right)$$

де: P_0 – початковий тиск; відповідно до вимог п.3.5 НАПБ Б.03.002-07 допускається приймати рівним 101 кПа; r – відстань від установки, [м]; m_{np} – приведена маса горючого газу, [кг].

Приведену масу горючого газу визначаємо за формулою:

$$m_{np} = \left(\frac{H_T}{H_0} \right) \cdot m \cdot Z_1,$$

де: Z_1 приймається рівним 0,1.

Масу горючого газу m , [кг], що потрапив до навколишнього простору під час розрахункової аварії, визначаємо за формулою:

$$m = V_{\text{обл}} \cdot \rho_z = (V_a + V_{mp}) \cdot \rho_z$$

Об'єм газу, що виходить із апарата визначаємо за формулою:

$$V_a = 0,01 \cdot P_p \cdot V = 0,01 \cdot 707 \cdot 20 = 141,4 \text{ м}^3.$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів, розраховуємо за формулою:

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}.$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводу до його відключення визначаємо за формулою:

$$V_{1T} = q \cdot \tau_T.$$

За 3 с (час відключення трубопроводів) у навколишній простір надійде такий об'єм газу:

$$V_{1T} = q \cdot \tau_T = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ м}^3.$$

Об'єм газу, що надійде у приміщення після відключення трубопроводів:

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot r^2 \cdot (L_1 + L_2) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 707 \cdot 0,04^2 \cdot (5+3) = 0,284 \text{ м}^2,$$

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} = 0,6 + 0,284 = 0,884 \text{ м}^3.$$

Густину газу визначаємо за формулою:

$$\rho = \frac{16}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 30)} = 0,643 \text{ кг / м}^3.$$

Масу газу, що вийде з блока у результаті аварії, визначаємо за формулою:

$$m = (V_a + V_{mp}) \cdot \rho_z = (141,4 + 0,884) \cdot 0,643 = 91,9 \text{ кг}.$$

Приведену масу горючого газу визначаємо за формулою:

$$m_{np} = \left(\frac{H_T}{H_0} \right) \cdot m \cdot Z_1 = \left(\frac{50125}{4520} \right) \cdot 91,5 \cdot 0,1 = 101,9 \text{ кг}.$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від установки обчислимо за формулою:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 101,9^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 101,9^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 101,9}{30^3} \right) = 21,3 \text{ кПа.}$$

Горизонтальний розмір зон $R_{НКМП}$, [м], який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу займання $C_{НКМП}$, обчислюємо за формулою:

$$R_{НКМП} = 14,5632 \cdot \left(\frac{m_2}{\rho_2 \cdot C_{НКМП}} \right)^{0,333} = 14,5632 \cdot \left(\frac{91,5}{0,643 \cdot 5,28} \right)^{0,333} = 43,6 \text{ м.}$$

Імпульс хвилі тиску i , [Па·с], на відстані 30 м від установки, обчислюємо за формулою:

$$i = 123 \cdot \frac{m_{np}^{0,66}}{r} = 123 \cdot \frac{101,9^{0,66}}{30} = 86,7 \text{ кПа.}$$

Відповідь. Горизонтальний розмір зони, що обмежує область газоповітряної суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі займання ($C_{НКМП}$), перевищує 30 м; розрахунковий надлишковий тиск вибуху газоповітряної суміші на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 5 кПа. Установка відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії А₃.

Задача 10.2. Визначити, до якої категорії відноситься зовнішня установка – резервуар з бензолом об'ємом 3 м³. Ступінь заповнення резервуара – 0,85. До складу установки входять насос, вхідний (напірний) і вихідний трубопроводи. Температура бензолу 25 °С.

Розв'язок

Для визначення надлишкового тиску вибуху у якості розрахункового варіанта візьмемо розгерметизацію резервуара з бензолом, розливання бензолу на майданчик і подальше його випаровування. Об'єм бензолу, що може витікати з трубопроводів, у розрахунку не враховується.

Величину розрахункового надлишкового тиску ΔP , кПа, що розвивається у разі займання пароповітряної суміші, визначимо за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right)$$

де: P_0 – початковий тиск; відповідно до вимог п.3.5 НАПБ Б.03.002-07 допускається приймати рівним 101 кПа; r – відстань від установки, [м]; m_{np} – приведена маса пари бензолу, [кг].

Приведену масу пари бензолу визначаємо за формулою:

$$m_{np} = \left(\frac{H_T}{H_0} \right) \cdot m \cdot Z_1$$

де: Z_1 вважатимемо рівним 0,1.

Масу пари бензолу, що випарується у навколишній простір, визначаємо за формулою:

$$m = W \cdot F_{\epsilon} \cdot \tau_{\text{вин}}.$$

Об'єм бензолу, що знаходиться у резервуарі і вилетіть у результаті аварії на технологічний майданчик установки, становить:

$$V_{\bar{\epsilon}} = V_a \cdot \epsilon = 3 \cdot 0,85 = 2,55 \text{ м}^3 = 2550 \text{ л}.$$

Згідно з Нормами 1 л рідини розливається на площі 0,15 м². Площа розливу (випаровування) становить:

$$F_{\epsilon} = 2550 \cdot 0,15 = 382,5 \text{ м}^2.$$

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою:

$$P_H = 10^{\frac{A - \frac{B}{C_a + t_p}}{5,6131 - \frac{902,275}{178,099 + 25}}} = 15,04 \text{ кПа}$$

Інтенсивність випаровування визначимо за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_n = 10^{-6} \cdot \sqrt{78,11} \cdot 15,04 = 1,329 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Тривалість випаровування вважатимемо рівною 3600 с.

Масу пари бензолу, що утворилася під час його випаровування обчислюємо за формулою:

$$m = W \cdot F_{\epsilon} \cdot \tau_{\text{вин}} = 1,329 \cdot 10^{-4} \cdot 382,5 \cdot 3600 = 183 \text{ кг}.$$

Приведену масу пари бензолу обчислюємо за формулою:

$$m_{\text{пр}} = \left(\frac{H_T}{H_0} \right) \cdot m \cdot Z_1 = \frac{40576}{4520} \cdot 183 \cdot 0,1 = 164,286 \text{ кг}$$

Величину розрахункового надлишкового тиску на відстані 30 м від установки обчислюємо за формулою:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 164,286^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 164,286^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 164,286^2}{30^3} \right) = 27,34 \text{ кПа}.$$

Густину пари бензолу при температурі 25 °С обчислюємо за формулою:

$$\rho_n = \frac{78,11}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 25)} = 3,166 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Горизонтальний розмір зони, що обмежує область газоповітряної суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі займання ($C_{\text{НКМП}}$), не нагрітої вище температури навколишнього середовища, обчислюємо за формулою:

$$R_{\text{НКМП}} = 3,1501 \cdot \sqrt{K_{\epsilon}} \left(\frac{P_H}{C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{m}{\rho_n \cdot P_H} \right)^{0,333} =$$

$$= 3,1501 \cdot 1 \cdot \left(\frac{15,04}{1,43} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{183}{3,166 \cdot 15,04} \right)^{0,333} = 33,4 \text{ м}$$

Імпульс тиску хвилі i , [Па·с], на відстані 30 м від установки обчислюємо за формулою:

$$i = 123 \cdot \frac{m_{np}^{0,66}}{r} = 123 \cdot \frac{164,286^{0,66}}{30} = 118,9 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Відповідь. Надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від установки перевищує 5 кПа. Зовнішня установка відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії А₃.

Задача 10.3. Визначити, до якої категорії відноситься спиртосховище відкритого типу, що розташоване у прямку площею 4х5м. Об'єм резервуара зі спиртом 2,1 м³. У спиртосховищі знаходиться етиловий технічний спирт, вироблений з нафтопродуктів методом кислотного гідролізу. Ступінь заповнення резервуара 95 %. Температура рідини 35 °С (середня максимальна температура в літній період). Проектом прийнято площу огороження резервуара 20 м². Тривалість випаровування рідини приймається рівною часу її повного випаровування, але не більше 3600 с.

Розв'язок

Для визначення надлишкового тиску вибуху у якості розрахункового варіанта приймемо розгерметизацію резервуара з спиртом, розлив спирту на майданчик і подальше його випаровування. З урахуванням прийнятого проектного рішення: обмежено площу розтікання спирту, площа випаровування становить $F_B = 20 \text{ м}^2$.

Величина розрахункового надлишкового тиску ΔP , кПа, що розвивається у разі займання пароповітряної суміші, визначається за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right)$$

де: P_0 – початковий тиск; відповідно до вимог п.3.5 НАПБ Б.03.002-07 допускається приймати рівним 101 кПа; r – відстань від установки, [м]; m_{np} – приведена маса пари спирту, [кг].

Приведену масу пару спирту визначаємо за формулою:

$$m_{np} = \left(\frac{H_T}{H_0} \right) \cdot m \cdot Z_1$$

де: Z_1 вважатимемо рівним 0,1.

Масу пари спирту, що випарується у навколишній простір, визначаємо за формулою:

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_{вин}$$

Площа розливу (випаровування), згідно з умовами проектування, становить:

$$F_B = 20 \text{ м}^2.$$

Інтенсивність випаровування визначимо за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H$$

Тиск насиченої пари визначимо за формулою:

$$P_H = 10^{7,81 - \frac{1918,51}{252,12 + 35}} = 13,46 \text{ кПа}$$

Інтенсивність випаровування становить:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot \sqrt{46,07} \cdot 13,46 = 91,26 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$$

Вважатимемо тривалість випаровування рівною 3600 с.

Масу парів спирту, що утворилася при випаровуванні спирту, визначимо за формулою:

$$m = W \cdot F_e \cdot \tau_{\text{вип}} = 91,26 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 3600 = 6,57 \text{ кг}$$

Приведена маса парів спирту становить:

$$m_{np} = \left(\frac{30,56 \cdot 10^6}{4,52 \cdot 10^6} \right) \cdot 6,57 \cdot 0,1 = 4,4 \text{ кг}$$

Величину розрахункового надлишкового тиску на відстані 30 м від установки визначимо за формулою:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 4,4^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 4,4^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 4,4}{30^3} \right) = 5,39 \text{ кПа}$$

Горизонтальний розмір зони, яка обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я C_{HKMP} визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} R_{HKMP} &= 3,1501 \cdot \sqrt{K_e} \left(\frac{P_H}{C_{HKMP}} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{m}{\rho_n \cdot P_H} \right)^{0,333} = \\ &= 3,1501 \cdot \sqrt{\frac{3600}{3600}} \cdot \left(\frac{15,04}{3,6} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{6,57}{1,82 \cdot 13,46} \right)^{0,333} = 5,9 \text{ м} \end{aligned}$$

Імпульс хвилі тиску i , [Па·с], на відстані 30 м від установки обчислимо за формулою:

$$i = 123 \cdot \frac{4,4^{0,66}}{30} = 10,9 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Відповідь. Надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від установки перевищує 5 кПа. Спиртосховище відкритого типу належить до категорії А₃.

Задача 10.4. Визначити, до якої категорії відноситься зовнішня установка – циклон для збору борошна об'ємом 5 м³.

Розв'язок

Для визначення надлишкового тиску вибуху у якості розрахункового варіанта аварії приймемо аварійний викид пилу з викидного отвору циклона на висоті 3 м від поверхні ґрунту внаслідок несправності перекривного витратного клапана з утворенням пилоповітряної вибухонебезпечної суміші.

Величина розрахункового надлишкового тиску ΔP , кПа, що розвивається у разі займання пилоповітряної суміші, визначається за формулою):

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right)$$

де: P_0 – початковий тиск; відповідно до вимог п.3.5 НАПБ Б.03.002-07 допускається вважати рівним 101 кПа; r – відстань від установки, [м]; m_{np} – приведена маса горючого пилу.

Приведену масу горючого пилу визначаємо за формулою:

$$m_{np} = \left(\frac{H_T}{H_0} \right) \cdot m \cdot Z_1$$

де: Z_1 приймаємо рівним 0,1; H_0 – константа, яка приймається рівною $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Величина m визначається за формулою:

$$m = q_n \cdot \tau \cdot K_{II},$$

де: m – маса горючого пилу, що потрапляє з об'єму циклона у навколишній простір у разі несправності перекидного витратного клапана, [кг]; q_n – витрата, з якою відбувається надходження пилоподібних речовин у навколишній простір до моменту перекидання, [кг/с]; τ – розрахунковий час перекидання, [с], який визначається у кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки. У даному випадку у разі ручного перекидання час перекидання становить 300 с; K_n – коефіцієнт пилення, який представляє собою відношення маси пилу у стані аерозолі до всієї маси пилу, який вийшов з апарата. Для пилу з дисперсністю менше 350 мкм допускається приймати $K_n=1,0$.

$$m = q_n \cdot \tau \cdot K_{II} = 5,6 \cdot 300 \cdot 1 = 1680 \text{ кг.}$$

Теплота згоряння борошна пшеничного 18000 кДж/кг.

Приведена маса горючого пилу становить:

$$m_{np} = \frac{18000}{4520} \cdot 1680 \cdot 0,1 = 669 \text{ кг}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від установки становить:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 669^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 669^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 669}{30^3} \right) = 60,18 \text{ кПа}$$

Відповідь. Розрахунковий надлишковий тиск вибуху пилоповітряної суміші на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 5 кПа. Установка належить до вибухопожежонебезпечної категорії Б₃.

Задача 10.5. Розрахувати інтенсивність теплового випромінювання від пожежі розливу бензину площею 300 м² на відстані 40 від розливу.

Розв'язок

Визначаємо ефективний діаметр розливу за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 300}{3,14}} = 19,5 \text{ м,}$$

де: F – площа розливу, [м²].

Обчислюємо висоту полум'я за формулою:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M_v}{\rho_n \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} = 42 \cdot 19,5 \cdot \left(\frac{0,06}{1,2 \cdot \sqrt{9,8 \cdot 19,5}} \right)^{0,61} = 26,6 \text{ м,}$$

де: M_v – питома масова швидкість вигорання бензину, [кг·м⁻²·с⁻¹];
 $M_v = 0,06 = 0,06 \text{ кг·м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$; ρ_n – густина навколишнього повітря, [кг·м⁻³]; $\rho_n = 1,2 \text{ кг·м}^{-3}$; $g = 9,81 \text{ м·с}^{-2}$ – прискорення вільного падіння.

Визначаємо кутовий коефіцієнт опромінення F_q за формулою:

$$F_q = \sqrt{F_e^2 + F_z^2} = \sqrt{0,00126^2 + 0,03236^2} = 0,0324,$$

де: F_e, F_z – фактори опромінення для вертикальної і горизонтальної поверхонь відповідно, які визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right] = \\ &= \frac{1}{3,14} \left[\frac{1}{4,1} \cdot \arctg \left(\frac{2,72}{\sqrt{4,1^2 - 1}} \right) - \frac{2,72}{4,1} \cdot \left\{ \arctg \left(\sqrt{\frac{4,1-1}{4,1+1}} \right) - \frac{3,08}{\sqrt{3,08^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(3,08+1)(4,1-1)}{(3,08-1)(4,1+1)}} \right) \right\} \right] = \\ &= 0,00126; \\ F_z &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right] = \\ &= \frac{1}{3,14} \left[\frac{(2,17-1/4,1)}{\sqrt{2,17^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,17+1)(4,1-1)}{(2,17-1)(4,1+1)}} \right) - \frac{(3,08-1/4,1)}{\sqrt{3,08^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(3,08+1)(4,1-1)}{(3,08-1)(4,1+1)}} \right) \right] = \\ &= 0,03236; \end{aligned}$$

де: $A = (h^2 + S^2 + 1)/(2 \cdot S) = (2,72^2 + 4,1^2 + 1)/(2 \cdot 4,1) = 3,08$;

$B = (1 + S^2)/(2 \cdot S) = (1 + 4,1^2)/(2 \cdot 4,1) = 2,17$;

$S = 2 \cdot r / d = 2 \cdot 40 / 19,5 = 4,1$;

де: r – відстань від геометричного центра розливу до об'єкта, що опромінюється, $r = 40 \text{ м}$.

$$h = 2 \cdot H / d = 2 \cdot 26,5 / 19,5 = 2,72$$

Визначаємо коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу за формулою:

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (40 - 0,5 \cdot 19,5)] = 0,979$$

Інтенсивність теплового випромінювання (q) для пожежі розливу рідини обчислюємо за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi = 47 \cdot 0,0324 \cdot 0,979 = 1,5 \text{ кВт} / \text{м}^2,$$

де: E_f – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання з полум'я, $E_f = 47 \text{ кВт} / \text{м}^2$; F_q – кутовий коефіцієнт опромінення; ψ – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Відповідь. Інтенсивність теплового випромінювання на відстані 40 м від розливу становить $q = 1,5 \text{ кВт} / \text{м}^2$.

Задача 10.6. Визначити час існування „вогняної кулі” та інтенсивність теплового випромінювання на відстані 500 м при розриві сферичного резервуара з пропаном об'ємом 600 м^3 у вогнищі пожежі. Густина рідкої фази $530 \text{ кг} / \text{м}^3$, ступінь заповнення резервуара – $\varepsilon = 0,8$.

Розв'язок

Обчислюємо масу горючого у „вогняній кулі” за формулою:

$$m = V \cdot \rho \cdot \varepsilon = 600 \cdot 530 \cdot 0,8 = 2,54 \cdot 10^5 \text{ кг},$$

де: V – об'єм резервуара, $[\text{м}^3]$; $V = 600 \text{ м}^3$; ρ – густина рідкої фази, $\rho = 530 \text{ кг} / \text{м}^3$; ε – ступінь заповнення резервуара; $\varepsilon = 0,8$.

Визначаємо ефективний діаметр "вогняної кулі" (D_s) за формулою:

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327} = 5,33 \cdot (2,54 \cdot 10^5)^{0,327} = 312 \text{ м},$$

де: m – маса горючої речовини, $[\text{кг}]$.

Обчислюємо кутовий коефіцієнт опромінення (F_q) за формулою:

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot [(H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2]^{1,5}} = \frac{156 / 312 + 0,5}{4 \cdot [(156 / 312 + 0,5)^2 + (500 / 312)^2]^{1,5}} = 0,037,$$

де: H – висота центра "вогняної кулі", $[\text{м}]$; $H = D_s / 2 = 156 \text{ м}$; D_s – ефективний діаметр "вогняної кулі", $[\text{м}]$; r – відстань від об'єкта, що опромінюється, до точки на поверхні землі безпосередньо під центром "вогняної кулі", $[\text{м}]$.

Розраховуємо коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу за формулою:

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2)] = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{500^2 + 156^2} - 312 / 2)] = 0,77$$

Обчислюємо інтенсивність теплового випромінювання (q) для пожежі розливу рідини за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi = 450 \cdot 0,0324 \cdot 0,77 = 12,9 \text{ кВт} / \text{м}^2,$$

де: E_f – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання з полум'я, $E_f = 450 \text{ кВт} / \text{м}^2$; F_q – кутовий коефіцієнт опромінення; ψ – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Час існування "вогняної кулі" (t_s) обчислюємо за формулою:

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303} = 0,92 \cdot (2,54 \cdot 10^5)^{0,303} = 40 \text{ с}$$

Відповідь. Інтенсивність теплового випромінювання на відстані 500 м при розриві сферичного резервуара з пропаном у вогнищі пожежі становить $q = 12,9 \text{ кВт} / \text{м}^2$; час існування „вогняної кулі” – $t_s = 40 \text{ с}$

Задача 10.7. Розрахувати надлишковий тиск і імпульс хвилі тиску при виході в атмосферу із сферичного резервуара пропану на відстані 500 м від нього. Об'єм сферичного резервуара 600 м^3 .

Розв'язок

Приведену масу (m_{np}) обчислюємо за формулою:

$$\begin{aligned} m_{np} &= (Q_{ze} / Q_o) \cdot m \cdot Z = (4,6 \cdot 10^7 / 4,52 \cdot 10^6) \cdot 254400 \cdot 0,1 = \\ &= 2,59 \cdot 10^5 \text{ кг} \end{aligned}$$

де: Q_{ze} – питома теплота згорання пропану, $Q_{ze} = 4,7 \cdot 10^7 \text{ Дж} / \text{кг}$; Z – коефіцієнт участі горючих газів і парів у горінні, який допускається приймати рівним 0,1; Q_o – константа, рівна $4,52 \cdot 10^6 \text{ Дж} / \text{кг}$; m – маса пропану, який надійшов в результаті аварії до навколишнього простору, [кг].

Масу пропану, який надійшов в результаті аварії до навколишнього простору, обчислюємо за формулою:

$$m = \varepsilon \cdot \rho \cdot V = 0,8 \cdot 530 \cdot 600 = 254400 \text{ кг}$$

Надлишковий тиск (ΔP), що розвивається у разі згорання пропаноповітряних сумішей, обчислюємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_o \cdot \left(0,8 \cdot m_{np}^{0,33} / r + 3 \cdot m_{np}^{0,66} / r^2 + 5 \cdot m_{np} / r^3 \right) = \\ &= 101 \cdot \left(0,8 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,33} / 500 + 3 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500^2 + \right. \\ &\quad \left. + 5 \cdot (2,59 \cdot 10^5) / 500^3 \right) = 16,2 \text{ кПа} \end{aligned}$$

де: P_o – атмосферний тиск, кПа, допускається приймати 101 кПа; r – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, [м].

Імпульс хвилі тиску (i) обчислюємо за формулою:

$$i = 123 \cdot m_{np}^{0,66} / r = 123 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500 = 1000 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Відповідь. Надлишковий тиск, що розвивається у разі згоряння пропаноповітряних сумішей, становить $\Delta P = 16,2 \text{ кПа}$; імпульс хвилі тиску $i = 1000 \text{ Па} \cdot \text{с}$

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

10.1. Визначити, до якої категорії відноситься зовнішня установка – газорегуляторний пункт шафовий ГРПШ-1 з регулятором тиску РДГД-20М з основною лінією редукування і байпасом, призначена для редукування високого тиску природного газу на низький.

Тиск в трубопроводі P_p , довжина вхідного (напірного) l_1 і вихідного трубопроводів l_2 , внутрішній діаметр трубопроводів – d , тривалість перекривання засувки – τ .

Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_p , МПа	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
t_p , °С	25	22	20	18	24	21	19	16	23	17
d , м	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
l_1 , м	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
l_2 , м	4	3	2	4	3	2	4	3	3	4

10.2. Визначити категорію зовнішньої установки, у якій знаходиться горюча рідина. До складу установки входять: апарат об'ємом V , ступінь заповнення апарата – ϵ , насос продуктивністю q , вхідний (напірний) l_1 і вихідний трубопроводи l_2 , внутрішній діаметр трубопроводів – d , тривалість перекривання засувки – τ . Температура горючої речовини – $t_{\text{рід}}$.

Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид рідини	Ацетон	Бензол	н-Бутанол	н-Ксилол	Метанол	н-Пропанол	Стирол	Толуол	Етанол	Бензин

Об'єм апарата, V, л	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Ступінь заповнення ε	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
Продуктивність насоса q, м ³ /с	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,015	0,025	0,035	0,045	0,055
Діаметр трубопроводів d, м	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05	0,055	0,06	0,065
Довжина вхідного трубопроводу l ₁ , м	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Довжина вихідного трубопроводу l ₂ , м	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Температура рідини t _{рід} , °С	18	20	22	24	26	17	19	21	23	25
Тривалість перекривання засувки τ , с	20	40	60	80	110	30	50	70	90	120

10.3. Визначити час існування „вогняної кулі” та інтенсивність теплового випромінювання на відстані L м при розриві резервуара з бутаном об'ємом у вогнищі пожежі. Розміри резервуарів: довжина резервуара l м, діаметр резервуара d м. Густина рідкої фази 610 кг/м³; ступінь заповнення резервуара – ε .

Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 10.3.

Таблиця 10.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Відстань від вогнища пожежі L, м	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Довжина резервуара l, м	8,3	11,4	14,7	18,5	22,9	8,3	11,4	14,7	18,5	22,9
Діаметр резервуара d, м	2,0	2,4	3,0	3,4	3,4	2,0	2,4	3,0	3,4	3,4
Ступінь заповнення резервуара, ε	0,6	0,65	0,70	0,75	0,8	0,6	0,65	0,70	0,75	0,8

10.4. Визначити, до якої категорії відноситься зовнішня установка – вертикальний циліндричний силос для зберігання горючого сипкого матеріалу.

Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 10.4.

Таблиця 10.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид горючого сипкого матеріалу	Борошно пшеничне		Борошно ячмінне		Борошно житнє		Борошно кормове		Борошно кукурудзяне	
Діаметр силосу d, м	6,0	9,0	12,0	18,0	24,0	6,0	9,0	12,0	18,0	24,0
Відношення висоти (h) силосу до його діаметра (d)	10,0	5,0	2,5	1,67	1,25	0,83	0,625	5,0	2,5	1,67

ДОДАТКИ

Додаток 1
Таблиця 1

Показники пожежної небезпеки деяких горючих речовин

Речовина (клас)	M	t _{сп} , °C	t _{сз} , °C	ТМРП, °C		КМРП, об. частки		W _{min} , мДж	D ₀ · 10 ⁵ м ² /с	n	U _n , м/с	ГДК, мг/м ³
				нижня	верхня	нижня	верхня					
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)	38,08	–9	435	–20	6	0,027	0,13	0,41	10,9	1,90	0,44	200
Бензол (ЛЗР)	78,11	–11	560	–14	13	0,0143	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	0,0135	0,09	–	6,6	1,87	0,4	200
н-Бутиловий спирт (ЛЗР)	74,12	41	340	34	67	0,018	0,109	0,28	8,1	1,86	0,3	10
Водень (ГГ)	2,016	–	510	–	–	0,0412	0,75	0,017	68,0	1,70	2,70	–
н-Гексадекан (ГР)	226,44	128	207	126	–	0,0047	–	–	3,47	1,86	0,4	–
н-Гексан (ЛЗР)	86,18	–23	233	–26	4	0,0124	0,075	0,25	6,63	1,55	0,385	180
н-Гептан (ЛЗР)	100,2	–4	233	–7	26	0,0107	0,067	0,24	6,09	1,54	0,424	2000
н-Декан (ЛЗР)	142,28	47	230	46	87	0,007	0,051	–	5,02	1,45	0,42	–
Диетиловий ефір (ЛЗР)	74,12	–41	180	–44	16	0,017	0,49	0,2	7,72	2,14	0,49	3000
н-Додекан (ГР)	170,34	77	202	76	120	0,0063	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	36	424	37	74	0,0093	0,06	–	6,15	1,87	0,4	50
Ізопропіловий спирт (ЛЗР)	60,1	18	430	11	42	0,0223	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	–	–	0,0528	0,141	0,28	19,6	1,76	0,338	–
Метилловий спирт (ЛЗР)	32,04	6	440	5	39	0,0698	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	0,0078	–	–	4,99	1,57	0,4	–
Оксид вуглецю (ГГ)	28,01	–	605	–	–	0,125	0,74	–	14,9	1,72	0,45	20
н-Октан (ЛЗР)	114,23	14	215	13	49	0,009	0,062	–	5,03	1,77	0,4	2350
н-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	0,0147	0,077	0,22	7,29	1,83	0,385	2350
Пропан (ГГ)	44,1	–	470	–	–	0,023	0,094	0,25	9,77	1,80	0,39	1800
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	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	0,0127	0,068	0,26	7,53	1,65	0,388	50
н-Тридекан (ГР)	184,36	90	204	90	135	0,0058	0,046	–	3,84	1,89	0,4	–
Ацетатна 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	421	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	0,555	1000
Етилцелозольв (ЛЗР)	90,1	52	215	39	81	0,018	0,157	0,15	7,21	1,86	0,474	–
Бензин АИ-92 (ЛЗР)	98,2	–37	380	–37	–10	0,009	0,055	0,3	6,15	2,0	0,44	100
Дизельне паливо (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-спірит (ЛЗР)	147,3	43	250	33	68	0,007	0,056	0,33	4,97	2,0	0,52	–
----------------------	-------	----	-----	----	----	-------	-------	------	------	-----	------	---

Таблиця 2

Тиск насиченої пари індивідуальних пожежонебезпечних рідин (Па)

Рідина	Температура, К								
	133,3	1333,2	2666,4	5332,9	13332,2	26664,4	53328,8	101325 (1 ат)	202650
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Акрилова кислота	276,5	312,0	325,0	339,2	348,0	359,1	376,3	395,0	414,0
Альдегід оцтовий	191,5	216,2	225,2	235,2	241,6	250,4	263,0	277,9	293,3
Ангідрид оцтовий	274,7	309,0	321,8	335,1	343,8	355,2	373,0	392,8	412,6
Ацетон	213,8	242,0	252,4	263,8	280,8	295,8	312,6	329,6	351,8
Бензол	236,4	261,6	270,6	280,8	299,8	315,4	333,8	353,2	377,0
Бромистий етил	198,7	225,5	235,2	246,3	253,5	263,0	287,5	294,0	311,4
Бутилбензол	295,7	335,0	349,3	365,4	375,6	389,2	409,9	432,2	456,1
Бутилформіат	246,6	271,1	291,0	304,6	312,8	324,0	340,9	359,2	379,0
Бутиловий спирт	272,0	303,4	314,6	326,6	343,6	357,5	374,0	390,6	413,0
н-Гексадекан	378,4	423,0	437,8	454,4	481,6	504,9	531,4	560,6	–
н-Гексан	219,2	248,2	259,0	270,9	289,0	304,8	322,8	341,8	366,2
н-Гептан	239,8	271,2	282,6	295,4	315,0	331,8	351,2	371,6	398,0

н-Декан	290,2	328,6	342,3	357,8	381,2	401,2	423,1	446,2	–
Диетиловий ефір	198,9	225,0	234,6	245,4	261,6	275,4	291,0	307,8	329,2
н-Додекан	320,8	363,0	377,5	394,6	418,6	439,0	461,6	487,6	521,4
Ізобутиловий спирт	264,2	294,8	287,4	317,2	334,7	349,0	364,6	381,2	400,4
Ізооктан	255,6	286,6	297,8	310,0	328,0	343,4	360,6	379,5	–
Ізопропілбензол	279,4	316,5	330,0	344,8	367,2	386,6	408,8	432,4	–
Ізопропіловий спирт	299,2	275,6	285,8	297,0	312,6	326,2	341,0	355,7	374,4
н- Ксилол	265,0	300,4	313,2	327,6	349,1	367,8	389,1	411,4	–
Метиловий спирт	229,2	257,0	267,2	278,2	294,4	308,0	323,9	337,2	354,4
Метилетилкетон	224,4	255,4	266,6	279,2	298,2	314,7	333,2	352,7	–
н-Нонан	275,6	311,2	324,2	338,8	359,2	377,9	400,0	422,7	–
н-Октан	259,2	281,4	304,6	318,2	338,8	356,8	377,2	398,7	425,9
н-Пентадекан	364,8	408,6	423,4	440,9	467,2	489,3	516,0	543,6	–
н-Пентан	196,6	223,1	233,0	244,0	260,6	275,1	291,6	309,2	331,2
Пропіловий спирт	258,2	287,8	298,4	309,6	325,9	340,0	355,2	371,0	390,2
Сірковуглець	199,4	228,4	238,8	250,7	268,0	283,6	301,2	319,6	342,2
Стирол	266,2	304,0	317,7	332,9	355,2	374,4	395,6	418,4	–
н-Тетрадекан	349,6	393,9	408,8	425,8	451,6	475,6	500,0	525,7	–
Толуол	246,4	279,6	291,5	304,9	325,0	342,6	362,6	383,8	409,6
н-Тридекан	332,6	377,1	393,4	410,9	435,6	458,2	482,6	507,2	–
Ацетатна кислота	256,0	290,6	303,1	316,2	336,2	353,2	372,2	391,3	416,7

н-Ундекан	213,8	304,6	345,4	359,6	376,3	400,0	443,7	467,6	–
Хлорбензол	260,1	295,4	308,5	322,8	343,8	362,6	383,2	405,4	433,4
Циклогексан	227,8	257,3	268,2	279,8	298,6	315,1	334,0	353,9	379,2
Етилацетат	229,8	259,7	270,2	282,3	300,2	315,2	332,4	350,2	373,8
Етилбензол	263,4	299,0	311,8	325,9	347,2	365,8	387,0	409,3	436,7
Етиловий спирт	241,8	270,8	281,2	292,2	308,0	321,6	326,6	351,5	370,6

Таблиця 3

Формули для розв'язання задач на газові суміші

Вираз складу суміші парів (газів)	Переведення з одного складу в інший	Густина суміші, ρ	Молекулярна маса суміші, M	Питома газова постійна суміші, R	Парціальний тиск компонентів, P_i
масовими частками C_i	$C_i = \frac{\varphi_i \cdot M_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i}$	$\rho = \frac{1}{\sum_{i=1}^n C_i / \rho_i}$	$M = \frac{1}{\sum_{i=1}^n C_i / M_i}$	$R = 8314,31 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i}$	$P_i = C_i \cdot \frac{R_i}{R} \cdot P_p$
об'ємними частками φ_i	$\varphi_i = \frac{C_i / M_i}{\sum_{i=1}^n C_i / M_i}$	$\rho = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \rho_i$	$M = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i$	$R = \frac{8314,31}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i}$	$P_i = \varphi_i \cdot P_p$

Таблиця 4

Густина пожежонебезпечних рідин (кг/м³) при різних температурах

t, °C	Бензол	Метанол	Пропанол	Толуол	Оцтова кислота	Етанол	Ацетон
0	900,1	809,1	819,3	884,9	–	806,2	813,0
10	889,5	800,5	803,5	875,6	–	797,9	801,9
20	879,0	791,5	787,5	865,8	1049,1	789,5	790,5
30	868,5	782,5	778,5	856,9	1039,2	780,5	778,8
40	857,6	774,0	770,0	840,4	1028,4	772,2	767,4
50	846,6	765,0	760,5	838,2	1017,5	762,7	756,4
60	835,7	755,5	752,0	829,2	1006,0	754,1	744,6
70	823,4	746,0	746,5	819,7	994,8	744,1	732,6
80	814,5	735,5	742,5	810,4	983,5	734,8	720,6
90	804,1	725,0	732,5	800,6	971,8	724,9	–
100	792,7	714,0	722,0	791,1	959,9	715,7	–

Таблиця 5

Показник адіабати k для газів та пари

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	k
Аміак	15	1,31
	100	1,28
	300	1,32
Ацетилен	15	1,26
Бензол	100	1,10
Водень	-20	1,42
	+15	1,41
	200	1,398
	800	1,376
Метанол	77	1,203
	100	1,26
Метан	15	1,31
Етан	15	1,22
	50	1,21
Етанол	90	1,13
Етилен	15	1,255
	100	1,18
Повітря	0	1,403
	100	1,399
	1000	1,363
	1800	1,316
Оцтова кислота	135	1,15
Оксид вуглецю	15	1,404

	300	1,379
Сірководень	15	1,32
	300	1,28
Пара водяна	100	1,324
	200	1,310
	300	1,304
	500	1,296

Таблиця 6

Значення коефіцієнта K_p в формулі 2.1

Тиск $P \times 10^{-5}$, Па	Менше 2	2	7	17	41	161	401	1001
Коефіцієнт $K_p \times 10^5$	3,36	4,61	5,06	5,25	6,94	8,06	8,61	10,28

Таблиця 7

Значення коефіцієнта η залежно від швидкості повітряного потоку і температури в приміщенні

Швидкість повітряного потоку в приміщенні, м/с	Значення коефіцієнта η при температурі t (°C) повітря в приміщенні				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Таблиця 8

Температура спалаху в °С водних розчинів пожежонебезпечних рідин при різних концентраціях

Пожежонебезпечна рідина	Концентрація, % мас.							
	10	25	40	55	70	80	85	90
Ацетон	11	-2	-9	-12	-14	-16	-17	-18
Метилловий спирт	59	46	30	23	18	13	11	9
Ізопропіловий спирт	40	34	34	34	31	31	30	28
Етиловий спирт	50	34	28	26	22	18	17	16
Оцтова кислота	-	-	-	-	63	60	57	54

Таблиця 9

Фізичні параметри води і пари на лінії насичення

t, °С	Вода			Водяна пара			
	ρ , кг/м ³	C_p , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$P \cdot 10^{-5}$, Па	ρ , кг/м ³	$\nu \cdot 10^5$, м ² /с
0	1000	4,23	55,1	1,79	0,0062	0,00484	206,6
10	1000	4,19	57,1	1,31	0,0125	0,0094	111,7
20	999	4,18	59,9	1,01	0,0238	0,01729	60,7
30	996	4,17	61,8	0,81	0,0433	0,03036	36,2
40	992	4,17	63,4	0,66	0,0752	0,05114	22,5
50	988	4,17	64,8	0,556	0,1258	0,0830	11,5
60	983	4,18	65,9	0,478	0,2031	0,1301	9,22
70	978	4,19	66,8	0,415	0,3177	0,1979	6,32
80	972	4,19	67,5	0,365	0,483	0,2929	4,44

90	965	4,19	68,0	0,326	0,715	0,4229	3,19
100	958	4,23	68,3	0,295	1,033	0,597	2,26
120	943	4,23	68,6	0,244	2,025	1,1199	1,25
140	926	4,27	68,5	0,212	3,658	1,962	0,74
160	907	4,36	68,3	0,191	6,303	3,252	0,46
180	887	4,44	67,5	0,173	10,23	5,145	0,31

Таблиця 10

Фізичні властивості горючих газів при атмосферному тиску ($1 \cdot 10^5$ Па)

Горючий газ	Хімічна формула	Температура кипіння, °С	Максимальний тиск вибуху, кПа	Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К) (при 20°С та $1 \cdot 10^5$ Па)	Теплоємність C_p , кДж/(кг·К) (при 20°С та $1 \cdot 10^5$ Па)	Динамічна в'язкість $\mu \cdot 10^6$, Па·с (при 20°С)
Аміак	NH ₃	-33,4	588	2,4	2,09	9,18
Ацетилен	C ₂ H ₂	-83,7	1009	2,2	1,69	9,35
Бутан	C ₄ H ₁₀	-0,5	843	1,6	1,679	6,835
Водень	H ₂	-252,75	730	17,6	14,335	8,355
Метан	CH ₄	-161,6	843	3,3	2,232	10,3955
Пропан	C ₃ H ₈	-42,06	843	1,9	1,667	7,502

Пропілен (пропен)	C ₃ H ₆	- 47,7	648	1,5	1,520	8,35
Етилен (етен)	C ₂ H ₄	- 103,7	830	2,0	1,554	9,85
Етан	C ₂ H ₆	-88,5	675	2,4	1,753	8,6
Оксид вуглецю	CO	-191,5	730	2,3	0,837	16,573
Сірководень	H ₂ S	-60,2	500	1,3	1,059	11,66

Примітка.

Коефіцієнт теплоємності повітря при t=20°C та P=1·10⁵Па становить C_p =1,005 кДж/кг·К;

коефіцієнт теплопровідності повітря при t=20°C та P=1·10⁵Па – λ=2,59·10⁻² Вт/м·К;

коефіцієнт динамічної в'язкості повітря при t=20°C – μ=1,73·10⁻⁵ Па·с.

Таблиця 11

Динамічні коефіцієнти в'язкості рідин (μх10³), Па·с

t, °C	Ацетон	Бензол	Метиловий спирт	Толуол	Оцтова кислота	Етиловий спирт
0	0,43	0,95	0,87	0,80	1,85	1,90
10	0,38	0,80	0,74	0,72	1,60	1,55
20	0,34	0,70	0,63	0,62	1,35	1,30
30	0,31	0,60	0,54	0,55	1,15	1,05
40	0,28	0,53	0,48	0,51	0,95	0,85
50	0,26	0,47	0,42	0,45	0,82	0,73
60	–	0,41	0,37	0,41	0,73	0,61
70	–	0,37	–	0,37	0,64	0,52
80	–	0,33	–	0,34	0,56	0,45
90	–	–	–	0,30	0,50	–
100	–	–	–	0,27	0,45	–

Таблиця 12

Коефіцієнти об'ємного розширення скраплених газів ($\beta \times 10^5$), K^{-1}

t, °C	Аміак	Хлор	Вуглекислий газ	Сірководень
-40	174	153	–	157
-30	180	158	–	160
-20	185	165	300	164
-10	194	175	386	169
0	204	187	568	175
10	217	199	704	182
20	234	212	708	192
30	257	226	724	206
40	285	242	–	223
50	313	250	–	240
60	338	278	–	261

Примітка. Для пропану $\beta=300 \times 10^{-5} K^{-1}$; для бутану $\beta=200 \times 10^{-5} K^{-1}$.

Таблиця 13

Значення коефіцієнта (Z) участі горючих газів або парів ЛЗР і ГР у вибуху

Вид горючої речовини	Значення Z
Водень	1,0
Горючі гази (крім водню)	0,5
Легкозаймисті і горючі рідини, які нагріті до температури спалаху та вище	0,3
Легкозаймисті і горючі рідини, які нагріті нижче температури спалаху, при наявності можливості утворення аерозолю	0,3
Легкозаймисті і горючі рідини, які нагріті нижче температури спалаху, при відсутності можливості утворення аерозолю	0

Таблиця 14

Значення коефіцієнта тертя ковзання для різних матеріалів тіл, які труться

Матеріал тіл, які труться	Коефіцієнт тертя ковзання	
	без змащування	з мастилом
Сталь – сталь	0,15	0,05 – 0,1
Сталь – чавун	0,18	0,05 – 0,12
Сталь – бронза	0,15	0,1
Чавун – чавун	0,15	0,07 – 0,12
Чавун – бронза	0,15 – 0,2	0,07 – 0,12
Бронза – бронза	0,2	0,07 – 0,1
Гума – чавун	0,8	0,5

Таблиця 15

Значення емпіричних констант A_p , n_p , A_b , n_b для розрахунку умов теплового самозаймання матеріалів

№ з/п	Найменування речовини або матеріалу	Значення констант			
		A_p	n_p	A_b	n_b
1.	Повість будівельна	1,729	0,279	2,350	0,140
2.	Гіпсотермін	1,729	0,272	2,363	0,107
3.	Борошно вітамінне	1,772	0,230	2,282	0,121
4.	Борошно кормове	1,5067	0,3219	2,1027	0,2435
5.	Тирса соснова	1,855	0,219	2,296	0,096
6.	Вітамін B ₂	1,716	0,220	2,140	0,300
7.	Диспергатор НФ	1,997	0,156	2,432	0,154
8.	Іонообмінна	2,146	0,106	2,350	0,048

	смола СГ				
9.	Солома пшенична	2,185	0,0167	2,301	0,035

Таблиця 16

Коефіцієнти місцевих опорів

Вид опору	Значення коефіцієнта						
Раптове розширення потоку	$\zeta = (1 - f_1/f_2)^2$						
	f_1/f_2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Раптове звуження потоку	ζ	1	0,64	0,36	0,16	0,04	0
	ζ	0,5	0,43	0,33	0,25	0,15	0
Коліно	f_1 і f_2 – площа перерізу трубопроводу						
	α	90°	120°	135°	150°		
	ζ_k	1,1	0,55	0,35	0,2		
Відвод (коліно з плавним закругленням і $\alpha=90^\circ$)	При $2 < R/d \leq 3$ $\zeta_o=0,5$						
	При $3 < R/d \leq 7$ $\zeta_o=0,3$						
Вхід в трубу	З гострими краями $\zeta_{вх}=0,5$						
	З плавним входом $\zeta_{вх}=0,3$						
Вихід з труби	$\zeta_{вих}=1$						
Засувка повністю відкрита	Умовний прохід, мм						
	Менше 175		175–300		Більше 300		
	Коефіцієнт $\zeta_{з.в.}$						
	0,5		0,25		0,15		
Засувка прикрита на 0,5	$\zeta_{з.п.} > 2$						
Гідрозатвор	$\zeta_r = 2,5 - 3,2$						
Трійник для потоку прямого бокового	$\zeta_{т.п.} = 0,5$						
	$\zeta_{т.б.} = 1,2$						

Таблиця 17

Значення модуля пружності для вуглецевих і легованих сталей залежно від температури

Марка сталі	Модуль пружності ($E \cdot 10^{-11}$ Па) при температурі, °С										
	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Вуглецева (ВСт3, 20 та ін.)	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,40	–	–
Легована аустенітного класу (0x18H10T та ін.)	2,00	2,00	1,99	1,97	1,4	1,91	1,86	1,81	1,75	1,68	1,61

Таблиця 18

Температурний коефіцієнт K_t

Матеріал мембрани	Температура, °С									
	-100	-50	0	50	100	150	200	300	400	
Алюміній	1,35	1,16	1,07	0,96	0,88	–	–	–	–	
Мідь	1,23	1,11	1,03	0,97	0,93	0,87	–	–	–	
Нержавіюча сталь	–	–	–	0,91	0,79	0,70	0,64	–	–	
Нікель	–	–	1,07	0,97	0,93	0,90	0,87	0,74	0,66	

Таблиця 19

Характеристика насадок вогнеперешкоджувачів

Вид насадки	Розміри елемента насадки, мм	Вільний об'єм, ε	Питома поверхня S, м ² /м ³
Кільця Рашига (dхhхδ)	6 x 6 x 1	0,55	690
	8 x 8 x 1,5	0,64	570
	12,5 x 12,5 x 2,0	0,74	370
Гравій кусковий (d)	1 – 3	0,5	1150
	3 – 5	0,5	1020
	6,1	0,465	960
	9 – 10	0,52	880
Силікагель КСМ (d)	3 – 5	0,49	980

Таблиця 20

Труби сталі безшовні гарячекатані

Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм
25	2,5–8	89	3,5–24	152	4,5–36
32	2,5–8	102	3,5–24	159	4,5–36
38	2,5–8	108	4,0–28	168	5,0–45
42	2,5–10	114	4,0–28	219	6,0–50
48	2,5–10	127	4,0–30	273	6,5–50
57	3,0–13	133	4,0–32	325	7,5–75
60	3,0–14	140	3,5–36	377	9,0–75
76	3,0–19	146	4,5–36	426	9,0–75

Примітка. Труби виготовляють із сталі марки Ст 2; 3; 4; 5 і 6, які мають відповідні допустимі напруження (МПа): 135, 160, 168, 200 і 240.

Таблиця 21

Характеристика вибуху деяких горючих газів

Горюча речовина	Вміст в повітрі, % об.	Максимальний тиск вибуху, МПа
Ацетон	4	0,4
	5	0,572
	6	0,53
	8	0,48
Бензол	2	0,46
	3	0,882
	4	0,62
	6	0,28
Бутан	3	0,843
	4	0,62
	5	0,62
	6	0,45
н-Бутиловий спирт	3	0,716
	4	0,61
	6	0,67
	8	0,62
н-Гексан	1,2	0,67
	2	0,56
	2,5	0,848
	3	0,58
Метиловий спирт	10	0,56
	12	0,62
	15	0,63
	18	0,59

Пропан	4	0,843
	5	0,614
	6	0,537
Толуол	2,3	0,634
	3	0,56
	4	0,59
Циклогексан	2,3	0,858
	3	0,67
	4	0,43
Етиловий спирт	6,5	0,682
	8	0,63

Характеристика матеріалу для розрахунку розривних мембран

Матеріал (марка) і його стан	Гранично допустима температура °С	Границя міцності, МПа	Відносне видовження	Показник повзучості, 1/год
Алюміній (АД00, АД0, АД, АД1, А5, А6, А7, А0, А) м'який твердий	100	60 150	0,2–0,25 0,03–0,04	0,04
Мідь (М1, М2, М3) м'яка тверда	160	200 300	0,3 0,03	0,02
Нержавіюча сталь (0Х18Н10Т) м'яка напівнагартована нагартована	300	540 800-900 1000	0,35–0,4 0,15–0,2 0,05	0,05
Нікель (НП1, НП2, НП3, НП4) м'яка напівтверда тверда	400	400 450 550	0,35 0,1 0,02	0,07

Примітка. Не допускається використання мембран з міді та її сплавів в середовищах, що містять ацетилен і його гомологи.

Таблиця 23

Граничні значення відстаней, $l_{гр1}$, залежно від величини критичної густини падаючих променистих потоків $q_{кр}$

$q_{кр}, \text{кВт/м}^2$	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{гр1}, \text{м}$	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Таблиця 24

Теплота згоряння деяких органічних речовин

Речовина	$Q_{н}^P$	
	кДж/моль	Дж/кг
Ацетон	1821,4	31360,2
Бензол	3169,4	40576,1
н-Бутан	2657,0	45713,4
н-Гексан	3887,0	45104,8
н-Гептан	4501,0	44918,8
Метан	802,0	50000,0
Пропан	2044,0	46353,4
н-Бутиловий спирт	2728,0	36805,2
Метилловий спирт	763,8	23639,0
н-Пропіловий спирт	2067,4	34405,1
Етиловий спирт	1408,0	30562,2
Толуол	3771,9	40936,6
Етан	1576,0	52411,0
Етилбензол	4386,9	41323,5

Таблиця 25

Нижча теплота згоряння речовин та матеріалів

Речовини та матеріали	Нижча теплота згоряння $Q_{н}^P$, МДж/кг
Папір:	
розпушений	13,40
книги, журнали	13,40
книги на дерев'яних стелажах	13,40
Деревина (бруски $W = 14 \%$)	13,80
Деревина (меблі в житлових і адміністративних будинках $W = 8...10 \%$)	13,80
Кальцій (стружка)	15,80
Каніфоль	30,40
Кіноплівка триацетатна	18,80
Капрон	31,09
Карболітові вироби	26,90
Каучук СКС	43,89

Каучук натуральний	44,73
Каучук хлоропреновий	27,99
Барвник олійний 5С	33,18
Барвник 9-78Ф п/е	20,67
Барвник фталоціанотен 4 "З" М	13,76
Ледерин (шкірзамінник)	17,76
Лінкруст полівінілхлоридний	17,08
Лінолеум:	
олійний	20,97
полівінілхлоридний	14,31
полівінілхлоридний двошаровий	17,91
полівінілхлоридний на повстяній основі	6,57
полівінілхлоридний на тканинній основі	20,29
Лінопор	19,71
Магній	25,10
Міпора	17,40
Натрій металічний	10,88
Органічне скло	27,67
Полістирол	39,00
Гума	33,52
Текстоліт	20,90
Торф	16,60
Пінополіуретан	24,30
Волокно штапельне	13,80
Волокно штапельне в купі 40х40х40 см	13,80
Поліетилен	47,14
Поліпропілен	45,67
Бавовна в тюках = 190 кг/м ³	16,75
Бавовна розпушена	15,70
Льон розпушений	15,70
Бавовна + капрон (3:1)	16,20

Таблиця 26

Значення критичних густин падаючих променистих потоків

Матеріали	q _{кр} , кВт/м ²
Деревина (сосна, вологість 12 %)	13,9
Деревно-стружкова плита густиною 417 кг/м ³	8,3
Торф брикетний	13,2
Торф кусковою	9,8
Бавовна-волокно	7,5
Шаруватий пластик	15,4
Склопластик	15,3
Пергамін	17,4
Гума	14,8

Вугілля	35,0
Рулонна покрівля	17,4
Картон сірий	10,8
Декоративний паперово-шаруватий пластик, ГОСТ 9590-76	19,0
Декоративний паперово-шаруватий пластик, ТУ 400-1-18-64	24,0
Металопласт, ТУ 14-1-4003-85	24,0
Металопласт, ТУ 14-1-4210-86	27,0
Плита деревно-волокниста, ГОСТ 8904-81	13,0
Плита деревно-стружкова, ГОСТ 10632-77	12,0
Плита деревно-стружкова з оздобленням «Поліплен», ГОСТ 21-29-94-81	12,0
Плита деревно-волокниста з лакофарбовим покриттям під цінні породи дерева, ГОСТ 8904-81	12,0
Плита деревно-волокниста з лакофарбовим покриттям під цінні породи дерева, ТУ 400-1-199-80	16,0
Вінілішкіра оббивна пониженої горючості, ТУ 17-21-488-4	30,0
Вінілішкіра, ТУ 17-21-473-84	32,0
Шкіра штучна «Геза», ТУ 17-21-488-84	17,9
Шкіра штучна «ВИК-Т» на тканині 4ЛХ, ТУ 17-21-328-80	20,0
Склопластик на поліефірній основі, ТУ 6-55-15-88	14,0
Лакофарбові покриття РХО, ТУ 400-1-120-85	25,0
Шпалери мийні ПВХ на паперовій основі, ТУ 21-29-11-72	12,0
Лінолеум ПВХ одношаровий, ГОСТ 14632-79	10,0
Лінолеум алкідний, ГОСТ 19247-73	10,0
Лінолеум ПВХ марки ТТН-2, ТУ 21-29-5-69	12,0
Лінолеум рулонний на тканинній основі	12,0
Лінолеум ПВХ, ТУ 480-1-237-86:	7,2
- з використанням полотна, ТУ 17-14-148-81	6,0
- з використанням полотна, ТУ 17-РСФСР-18-17-003-83	9,0
- на підоснові «Неткол»	
Доріжка прутковая чистошерстяна, ТУ 17-Таджикская ССР-463-84	9,0
Покриття коврове, прошивне, ОСТ 17-50-83, арт. 5867	22,0
Покриття коврове для підлоги рулонне «Ворсолон», ТУ 21-29-12-72	5,0
Покриття коврове голкопробивне «Мистра-1», ТУ 17-Эстонская ССР-266-80	6,0
Покриття коврове голкопробивне «Мистра-2», ТУ 17-Эстонская ССР-266-80	5,0
Покриття коврове голкопробивне «Вестра», ТУ 17-Эстонская ССР-551-86	5,0
Покриття коврове типу А, типу 21-29-35, арт.10505	4,0
Сіно, солома (при мінімальній вологості до 8 %)	7,0
Легкозаймисті, горючі і важкогорючі рідини при температурі	

самозаймання, °С:	
300	12,1
350	15,5
400	19,9
500 і вище	28,0

Таблиця 27

Показники пожежної небезпеки індивідуальних речовин

№ з/п	Речовина	Хімічна формула	Молярна маса, кг/моль	Температура спалаху, °С	Температура самозаймання, °С	Константи рівняння Антуана			Температурний інтервал значень констант рівняння Антуана °С	Нижча концентраційна межа поширення полум'я С _{НКП} %	Характеристики речовини	Теплота згоряння кДж·кг ⁻¹
						А	В	С _А				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Амілацетат	C ₇ H ₁₄ O ₂	130,196	+43	+290	7,16870	1579,510	221,365	25÷147	1,08	ЛЗР	
2	Аміловий спирт	C ₅ H ₁₂ O	88,149	+48	+300	7,18246	1287,625	161,330	74÷157	1,48	ЛЗР	34702
3	Ацетальдегід	C ₂ H ₄ O	44,053	-40	+172	7,19160	1093,537	233,413	-80÷20	4,12	ГР	
4	Ацетон	C ₃ H ₆ O	50,080	-18	+535	7,25058	1281,721	237,088	-15÷93	2,91	ЛЗР	28470
5	Бензол	C ₆ H ₆	78,113	-11	+534	6,48898; 6,98426	902,275; 1252,776	178,099; 225,178	-20÷6 -7÷80	1,43	ЛЗР	38519
6	Н-бутилацетат	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,160	+29	+330	7,00641	1340,743	199,757	0÷100	1,43	ЛЗР	
7	Н-бутиловий спирт	C ₄ H ₁₀ O	74,122	+35	+345	9,59730	2664,684	279,638	-1÷126	1,81	ЛЗР	33000
8	Бутилацетат (вторинний)	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,160	+19	+410	-	-	-	-	1,4	ЛЗР	
9	Бензиловий спирт	C ₇ H ₈ O	108,130	+90	+400	7,93428; 7,58200	2130,42; 1904,3	218,0; 200,0	20÷112; 112÷300	1,3	ГР	
10	Гексадекан	C ₁₆ H ₃₄	226,445	+128	+207	6,78749	1656,405	136,869	105÷287	0,473	ГР	
11	Гексан	C ₆ H ₁₄	86,177	-23	+234	6,87024	1166,274	223,661	-54÷69	1,242	ЛЗР	44800
12	Н-гексилловий спирт	C ₆ H ₁₄ O	102,176	+60	+285	7,27800	1420,273	165,469	56÷157	1,23	ГР	
13	Гептан	C ₇ H ₁₆	100,203	-4	+223	6,95154	1295,405	219,819	-60÷98	1,074	ЛЗР	44900
14	Гліцерин	C ₃ H ₈ O ₃	92,094	+198	+400	9,05260	3074,220	214,712	141÷263	2,6	ГР	16124
15	Декан	C ₁₀ H ₂₂	142,284	+47	+230	7,39530	1809,975	227,700	17÷174	0,760	ЛЗР	44400
16	Дивініловий ефір	C ₄ H ₆ O	70,091	-30	+360	6,98810	1055,259	228,589	-40÷60	1,7	ЛЗР	
17	Диметил-формамід	C ₃ H ₇ ON	73,094	+53	+440	7,03446	1482,985	204,342	25÷153	2,35	ЛЗР	
18	Диоксан-1,4	C ₄ H ₈ O ₂	88,106	+11	+375	7,51611	1632,425	250,725	12÷101	2,0	ЛЗР	
19	1,2-дихлоретан	C ₂ H ₄ Cl ₂	98,960	+9	+413	7,66135	1640,179	259,715	-24÷83	6,2	ЛЗР	11000
20	Диетиламін	C ₄ H ₁₁ N	73,138	-14	+310	7,22314	1267,557	236,329	-33÷59	1,77	ЛЗР	

21	Диетиловий ефір	C ₄ H ₁₀ O	74,122	-41	+180	6,99790	1098,945	232,372	-60÷35	1,7	ЛЗР	33900
22	Ізобутиловий спирт	C ₄ H ₁₀ O	74,122	+28	+364	8,70512	2058,392	245,642	-9÷116	1,81	ЛЗР	33000
23	Ізопентан	C ₅ H ₁₂	72,150	-52	+432	6,79306	1022,551	233,493	-83÷28	1,36	ЛЗР	45200
24	Ізопропіл-бензол	C ₉ H ₁₂	120,194	+36	+424	6,93773	1460,668	207,652	3÷153	0,93	ЛЗР	
25	Ізопропіловий спирт	C ₃ H ₈ O	60,096	+14	+430	8,38562	1733,00	232,380	-26÷148	2,23	ЛЗР	30000
26	М-ксилол	C ₈ H ₁₀	106,167	+28	+530	6,58807	1906,796	234,917	20,7÷181	1,1	ЛЗР	40872
27	О-ксилол	C ₈ H ₁₀	106,167	+31	+464	6,28893	1575,114	223,579	-3,8÷144,4	1,00	ЛЗР	40872
28	п-ксилол	C ₈ H ₁₀	106,167	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	-8,1÷138,3	1,1	ЛЗР	40872
29	Метиловий спирт	CH ₄ O	32,042	+6	+436	8,22777	1660,454	245,818	-10÷90	6,98	ЛЗР	19500
30	Толуол	C ₇ H ₈	92,140	+7	+535	6,0507	1328,171	217,713	-26,7÷110,6	1,27	ЛЗР	41031
31	Трихлоретилен	C ₂ HCl ₃	131,4	+36	+380	7,02808; 7,4675	1315,0; 1675,0	230,0; 280,0	7÷155; 155÷293	12	ТГ	
32	Оцтова кислота	C _{3,7} H _{7,4} O _{3,7}	111,097	+38	-	7,79845	1789,908	245,908	0÷118	3,33	ЛЗР	
33	Хлорбензол	C ₆ H ₅ Cl	112,558	+29	+637	7,26112	1607,316	235,351	-35÷132	1,4	ЛЗР	27130
34	Етилацетат	C ₄ H ₈ O ₂	88,106	-3	+446	6,22672	1244,951	217,881	-15÷75,8	2,08	ЛЗР	
35	Етилбензол	C ₈ H ₁₀	106,167	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	-9,8÷136,2	1,03	ЛЗР	40872
36	Етиловий спирт	C ₂ H ₆ O	46,069	+13	+400	8,68665	1918,508	252,125	-31÷78	3,61	ЛЗР	26900
37	Етилцеллозольв	C ₄ H ₁₀ O ₂	90,122	+40	+215	8,74133	2392,56	273,15	20÷135	1,8	ЛЗР	

Показники пожежної небезпеки сумішей і технічних продуктів

№ з/п	Продукт (ГОСТ, ТУ)	Сумарна формула	Молярна маса, кг/моль	Температура спалаху, °С	Температура самозаймання, °С	Константи рівнянь Антуана			Температурний інтервал значень констант рівняння Антуана, °С	Нижча концентраційна межа поширення полум'я $C_{НКПР}$, %, (об.)	Характеристика речовини
						A	B	C_A			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Бензин авіаційний Б-70 (ГОСТ 1012-72)	$C_{7,267}H_{14,769}$	102,200	-34	300	8,41944	2629,65	384,195	-40÷100	0,92	ЛЗР
2.	Бензин А-72 (зимовий) (ГОСТ 2084-77)	$C_{6,991}H_{13,108}$	97,200	-36	-	5,07020	682,876	222,066	-60÷85	1,08	ЛЗР
3.	Бензин АИ-93 (літній) (ГОСТ 2084-77)	$C_{7,024}H_{13,706}$	98,200	-36	-	4,99831	664,976	221,695	-60÷95	1,06	ЛЗР
4.	Бензин АИ-93 (зимовий) (ГОСТ 2084-77)	$C_{6,911}H_{12,168}$	95,300	-37	-	5,14031	695,019	223,220	-60÷90	1,1	ЛЗР
5.	Бензин "Калоша"	-	-	-17	+350	-	-	-	-	1,1	ЛЗР
6.	Бензин А-66	-	-	-39	+255	-	-	-	-	0,76	ЛЗР
7.	Бензин А-74	-	-	-36	+300	-	-	-	-	0,79	ЛЗР
8.	Дизельне паливо "ДЗ" (зимове) загального призначення (ГОСТ 305-82)	-	-	+53	+240	-	-	-	-	-	ЛЗР
9.	Дизельне паливо "ДЛ" (літнє) загального призначення (ГОСТ 305-82)	-	-	+40	+330	-	-	-	-	-	ЛЗР
10.	Дизельне паливо "З" (ГОСТ 305-82) для тепловозних дизелів	$C_{12,343}H_{23,889}$	172,3	+40	-	5,95338	1255,73	199,523	40÷210	0,61	ЛЗР
11.	Дизельне паливо "Л" (ГОСТ 305-82) для тепловозних дизелів	$C_{14,511}H_{29,120}$	203,6	+61	-	5,87629	1314,04	192,473	60÷240	0,52	ЛЗР
12.	Ксилол (суміш	$C_{7,99}H_{9,98}$	106,0	+24	+590	7,05479	1478,16	220,535	0÷50	1,00	ЛЗР

	ізомеров) (ГОСТ 9410-78)										
13.	Гас освітлювальний КО-20	$C_{13,595}H_{26,860}$	191,7	+40	-	5,69697	1211,73	194,677	40÷240	0,55	ЛЗР
14.	Гас освітлювальний КО-22	$C_{10,914}H_{21,832}$	153,1	+40	-	6,47119	1394,72	204,260	40÷190	0,64	ЛЗР
15.	Гас освітлювальний КО-25	$C_{11,054}H_{21,752}$	154,7	+40	-	6,00016	1223,85	203,341	40÷190	0,66	ЛЗР
16.	Масло індустріальне "50"	-	-	+200	+380	-	-	-	-	-	ГР
17.	Масло вазелінове	-	-	+187	+290	-	-	-	-	-	ГР
18.	Масло трансформаторне	$C_{21,74}H_{42,88}S_{0,004}$	303,9	+150	+270	7,75932	2524,17	174,010	164÷343	0,291	ГР
19.	Масло турбінне 22	-	-	+184	+400	-	-	-	-	-	ГР
20.	Масло ВМ-4	-	-	+212	+400	-	-	-	-	-	ГР
21.	Масло циліндрове "11"	-	-	+197	+350	-	-	-	-	-	ГР
22.	Масло індустріальне (веретенне 2)	-	-	+164	+280	-	-	-	-	-	ГР
23.	Масло індустріальне (веретенне 3)	-	-	+158	+320	-	-	-	-	-	ГР
24.	Масло індустріальне "машинне С"	-	-	+181	+355	-	-	-	-	-	ГР
25.	Масло солярове	-	-	+142	+360	-	-	-	-	-	ГР
26.	Масло АМТ-300 (ТУ 38-1Г-1-68)	$C_{22,25}H_{33,48}S_{0,34}N_{0,07}$	312,9	+170	+290	6,99959	2240,001	167,85	170÷376	0,35	ГР
27.	Масло АМТ-300Т (ТУ 38-101243-72)	$C_{19,04}H_{24,58}S_{0,196}N_{0,04}$	260,3	+170	-	6,49540	2023,77	164,09	171÷396	0,43	ГР
28.	Розводжувач РДВ	-	-	+2,0	+424	-	-	-	-	1,83	ЛЗР
29.	Розчинник 648	-	-	+13	+388	-	-	-	-	1,65	ЛЗР
30.	Розчинник Р-4 (н-бутилацетат-12, толуол-62, ацетон-26)	$C_{5,452}H_{7,606}O_{0,535}$	81,7	-9	+550	7,17192	1373,667	242,828	-15÷100	1,60	ЛЗР
31.	Розчинник Р-4 (ксилол-15, толуол-70, ацетон-15)	$C_{6,231}H_{7,798}O_{0,223}$	86,3	-4	+550	7,15373	1415,199	244,752	-15÷100	1,38	ЛЗР
32.	Розчинник Р-5 (н-бутилацетат-30, ксилол-40, ацетон-30)	$C_{5,309}H_{8,655}O_{0,897}$	86,3	-9	-	7,17850	1378,851	245,039	-15÷100	1,57	ЛЗР
33.	Розчинник М (н-	$C_{2,761}H_{7,147}O_{1,187}$	59,4	+6	-	8,93204	2083,566	267,735	0÷50	2,79	ЛЗР

34.	бутилацетат-30, етилацетат-5, етиловий спирт-60, ізобутиловий спирт-5) Розчинник РМЛ ТУКУ 467-56 (толуол-10, етиловий спирт-64, н- бутиловий спирт-10, етилцеллозольв-16)	$C_{2,645}H_{5,810}O_{1,038}$	55,2	+10	-	9,57161	2487,728	290,920	0÷50	2,85	ЛЗР
35.	Розчинник РМЛ218 (МРТУ 6-10-729-68) (н-бутилацетат-9, ксилол-21,5, толуол- 21,5, етиловий спирт- 16, н-бутиловий спирт- 3, етилцеллозольв-13, етилацетат-16)	$C_{4,791}H_{8,318}O_{0,971}$	81,5	+4	-	8,07751	1761,043	251,546	0÷50	1,72	ЛЗР
36.	Розчинник Р-12 (н- бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	$C_{6,837}H_{9,217}O_{0,515}$	99,6	+10	-	7,04804	1403,079	221,483	0÷100	1,26	ЛЗР
37.	Розчинник РМЛ-315 (ТУ 6-10-1013-17) (н- бутилацетат-18, ксилол-25, толуол-25, н-бутиловий спирт-15, етилцеллозольв-17)	$C_{5,962}H_{9,779}O_{0,845}$	95,0	+16	-	7,71160	1699,687	241,00	0÷50	1,25	ЛЗР
38	Скiпiдар	-	-	+34	+300	-	-	-	-	0,8	ЛЗР
39	Уайт-спiрит (ГОСТ 3134-78)	$C_{10,5}H_{21,0}$	147,3	+33	+260	8,01130	2218,3	273,15	20÷80	0,7	ЛЗР

Таблиця 29

Оптимальні розміри вертикальних циліндричних резервуарів для легкозаймистих та горючих рідин

Об'єм резервуарів (номінальний), м ²	Оптимальні розміри, м (діаметр Д, висота Н) вертикальних резервуарів таких типів			
	Зі стаціонарною покрівлею з понтоном (СПП) і без понтона (СП)		З покрівлею, що плаває (ПП)	
	Д	Н	Д	Н
100	4,7	6,0		
200	6,6	6,0		
300	7,6	7,5		
400	8,5	7,5		
700	10,4	9,0		
1000	10,4	12,0	12,3	9
2000	15,2	12,0	15,2	12
3000	19,0	12,0	19,0	12
5000	21,0	15,0	22,8	12
10000	28,5	18,0	28,5	18
20000	40,0	18,0	40,0	18
30000	45,6	18,0	45,6	18
40000	56,9	18,0	56,9	18
50000	60,7	18,0	60,7	18
100000	Не допускається		85,3	18
120000			92,3	18

Таблиця 30

Місткість групи наземних резервуарів залежно від типу, номінального об'єму резервуарів та виду нафтопродуктів

Тип сталевих резервуарів	Одиничний номінальний об'єм резервуарів, м ³	Вид рідин, що зберігаються	Допустима загальна номінальна місткість групи, м ³	Відстань між резервуарами в групі залежно від Д або в метрах
Вертикальні резервуари: 1. З покрівлею, що плаває	50000 і більше	ЛЗР, ГР	200000	0,5 Д, але не більше 30 м
	менше 50000	ЛЗР, ГР	120000	0,5 Д
2. З понтоном	50000	ЛЗР, ГР	200000	30 м

		ГР, ЛЗР, крім бензину	120000	0,5 Д
	Менше 50000 до 400	бензин	120000	0,65 Д
	100 до 400 вкл.	ЛЗР, ГР	один блок 4000 див. п.17.1.31	не нормується
3. Зі стаціонарною покрівлею	від 50000 до 400	Дизпаливо, ГР	80000	0,5 Д, але не більше 30 м
	від 50000 до 400	ЛЗР	Одним блоком 4000 див. п.17.1.31	0,7 Д, але не більше 30 м
Горизонтальні резервуари	До 100 вкл.	ЛЗР, ГР	Одним блоком 4000 див. п.17.1.31	Не нормується
	Від 100 до 400 вкл.	ЛЗР, ГР	Одним блоком 4000 див. п.17.1.31	Не нормується
	Більше 100	ЛЗР, ГР	80000	0,5 Д

Таблиця 31

Мінімальні відстань між стінками резервуарів, які розташовані в сусідніх групах

Вид зберігання і одиничний об'єм резервуарів, що встановлюються в групі	Відстань між стінками крайніх резервуарів груп, м
1. Наземне зберігання до 10000 м ³ вкл.	40
понад 10000 м ³	60
Блок місткістю до 4000 м ³ вкл., який розміщується самостійно (поза загальною групою)	15
2. Підземне зберігання не залежно від об'єму	15

Таблиця 32

Відстань від стінок резервуарів до підшви внутрішніх схилів обвалування

Об'єм (номінальний) одиночних резервуарів в групі, м ³	Висота обвалування, м		Мінімальна відстань від стінок резервуарів до внутрішніх схилів обвалування, м
	Міні- мальна	Макси- мальна	
10000 і більше	1,5	3,9	6
менше 10000 (включаючи резервуари, місткістю до 400 м ³ вкл., що розміщуються в загальній групі на одному блоці відповідно до п.17.1.31)	1	3,9	3
до 400 м ³ вкл., що розміщуються в блоці, самостійно (поза загальною групою):			
- при вертикальних резервуарах	0,8	-	Не нормується
- при горизонтальних резервуарах	0,5	-	Не нормується

Таблиця 33

Мінімальні відстані у просвіті між групами резервуарів

Загальна місткість резервуарів, м ³	Загальна місткість резервуарів в групі, м ³
До 2000	1000
Від 2000 до 8000	2000

Таблиця 34

Відстані у просвіті між зовнішніми твірними крайніх резервуарів груп залежно від загальної місткості резервуарів в групі

Загальна місткість резервуарів в групі, м ³	Відстані у просвіті між зовнішніми твірними крайніх резервуарів груп, які розташовані надземно, м
До 200	5
Від 200 до 700	10
Від 700 до 2000	20

Таблиця 35

Кінематична в'язкість окремих рідин ($\nu \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$)

Найменування рідин	Температура, °C		
	10	20	30
Ацетон	0,453	0,410	0,373
Бензол	0,801	0,685	0,593
Етилацетат	0,565	0,503	0,450
Етанол	2,213	1,831	1,530
Метанол	0,802	0,692	0,603
Толуол	0,771	0,675	0,599

Література

1. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403–VI. *Голос України*. 2012. 20 листопада. С. 68.
2. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А. 01.001–2014. [Чинний з 01.01.2014]. Київ: Офіційний вісник України, 2016. 91 с.
3. Пожежна безпека. Загальні положення : ДСТУ 8828:2019. [Чинний з 01.01.2020]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 84 с.
4. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002-07.
5. Про об'єкти підвищеної небезпеки: Закон України від 18.01.2001 №2245-III. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 2001, № 15, ст.73. 12 с.
6. Внутрішній водопровід та каналізація : ДБН В.2.5–64:2012. [Чинний з 01.03.2013]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. 122 с.
7. Водопостачання. Зовнішні мережі : ДБН В.2.5–74:2013. [Чинний з 01.01.2014]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2014. 172 с.
8. Системи протипожежного захисту : ДБН В.2.5–56:2014. [Чинний з 01.07.2015]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2014. 128 с.
9. Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В.1.1–7:2016. [Чинний з 01.03.2017]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 36 с.
10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: В 2-х кн./А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. М.: Химия, 1990. Кн. 1–496 с. Кн. 2 – 384 с.
11. Михайлюк О.П., Олійник В.М., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Харків, 2004. 407 с.
12. Павлюк Ю.Е., Ференц Н.О. Аналіз пожежної небезпеки технологічних процесів виробництва. Львів, ЛДУ БЖД, 2008. 170 с.
13. Павлюк Ю.Е., Ференц Н.О. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Львів: ЛДУ БЖД, 2008. 96 с.
14. Задачник «Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів» /Заїка П.І., Хаткова Л.В.– Черкаси: ЧСПБ, 2002.– 80 с.
15. Шкоруп О.І., Сізіков О.О. та ін. Посібник щодо застосування НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». К. 2009.
16. ВБН В.2.2-58.1-94. Проектування складів нафти та нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. Збірник нормативних документів. – Пожежна безпека. Протипожежні вимоги в

галузі проєктування та будівництва. – Т.4. – Київ. – ГУДПО МВС України.

17. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти та нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. Збірник нормативних документів. – Пожежна безпека. Протипожежні вимоги в галузі проєктування та будівництва. – Т.4. – Київ. – ГУДПО МВС України.

18. Виробничі будівлі : СНиП 2.09.02–85*. [Чинний з 01.04.2005]. Київ: Держбуд України, 2005. 17 с.