

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ**

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

Надія ФЕРЕНЦ

**Практикум
з пожежної профілактики
технологічних процесів
об'єктів підвищеної небезпеки**

Навчальний посібник

ЛЬВІВ 2023

УДК 614.84

ББК 38.96

Ф 87

Рецензенти:

Тарас ШНАЛЬ, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка»

Оксана СТАНІСЛАВЧУК, 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 № 4 від 23 листопада 2022 р.)

Ференц, Надія Олександрівна

Практикум з пожежної профілактики технологічних процесів об'єктів підвищеної небезпеки: навчальний посібник/ Надія ФЕРЕНЦ – Львів: ЛДУ БЖД, 2023. – 294 с.: рис.5, табл.123, дод.1 – Бібліогр.: с. 293-294 (25 назв).

У навчальному виданні стисло викладені основні положення курсу «Пожежна профілактика технологічних процесів». Наведено алгоритми і приклади розв'язання типових задач, умови задач для практичних і контрольних робіт та довідковий матеріал.

Видання призначено для підготовки бакалаврів та магістрів, що навчаються у галузі знань "Цивільна безпека" згідно освітньо-професійних програм «Пожежна безпека» та «Аудит пожежної та техногенної безпеки» першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» .

© Надія ФЕРЕНЦ, 2023

© ЛДУ БЖД, 2023

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| Передмова | 5 |
| Розділ I. АНАЛІЗ ВИБУХОПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ | 6 |
| 1. Вибухопожежна небезпека середовища всередині технологічного обладнання | 6 |
| 1.1. Основні теоретичні положення..... | 6 |
| 1.2. Приклади розв'язання задач..... | 13 |
| 1.3. Задачі для самостійного розв'язання | 18 |
| 2. Вибухопожежна небезпека виходу горючих речовин зі справних технологічних апаратів | 22 |
| 2.1. Основні теоретичні положення..... | 22 |
| 2.2. Приклади розв'язання задач..... | 26 |
| 2.3. Задачі для самостійного розв'язання..... | 34 |
| 3. Вибухопожежна небезпека виходу горючих речовин з пошкодженого технологічного обладнання | 39 |
| 3.1. Основні теоретичні положення..... | 39 |
| 3.2. Приклади розв'язання задач..... | 44 |
| 3.3. Задачі для самостійного розв'язання..... | 49 |
| 4. Пожежна небезпека виходу горючих речовин з пошкодженого технологічного обладнання | 54 |
| 4.1. Основні теоретичні положення..... | 54 |
| 4.2. Приклади розв'язання задач..... | 59 |
| 4.3. Задачі для самостійного розв'язання..... | 66 |
| 5. Виробничі дерела запалювання | 70 |
| 5.1. Основні теоретичні положення..... | 70 |
| 5.2. Приклади розв'язання задач..... | 72 |
| 5.3. Задачі для самостійного розв'язання..... | 78 |
| Розділ II. ТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ УБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ ВІД ПОЖЕЖІ | 81 |
| 6. Захист технологічних комунікацій і технологічних апаратів від поширення пожежі | 81 |
| 6.1. Основні теоретичні положення..... | 81 |
| 6.2. Методика розрахунку гравійного вогнеперешкоджувача..... | 88 |
| 6.3. Методика розрахунку зовнішньої парової завіси..... | 91 |
| 6.4. Методика розрахунку системи аварійного зливу рідин..... | 95 |
| 6.5. Методика розрахунку запобіжного клапана..... | 99 |
| 6.6. Методика розрахунку запобіжної мембрани..... | 103 |
| 6.7. Приклади розв'язання задач..... | 106 |

| | |
|---|------------|
| 6.8. Задачі для самостійного розв'язання..... | 116 |
| 7. Захист технологічних апаратів від розтікання легкозаймистих та горючих рідин..... | 124 |
| 7.1. Основні теоретичні положення..... | 124 |
| 7.2. Методика розрахунку висоти обвалування навколо резервуарного парку складів нафти і нафтопродуктів..... | 126 |
| 7.3. Методика розрахунку висоти обвалування навколо резервуарного парку скраплених вуглеводневих газів..... | 127 |
| 7.4. Методика розрахунку висоти обвалування навколо груп електродегідраторів | 129 |
| 7.5. Приклади розв'язання задач..... | 130 |
| 7.6. Задачі для самостійного розв'язання..... | 139 |
| Розділ III. КАТЕГОРІЇ ПРИМІЩЕНЬ, БУДИНКІВ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ ТА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ..... | 144 |
| 8. Методика визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою | 144 |
| 8.1. Основні теоретичні положення..... | 144 |
| 8.2. Приклади розв'язання задач..... | 155 |
| 8.3. Задачі для самостійного розв'язання..... | 180 |
| 9. Методика визначення категорій будинків та окремих проти-пожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною небезпекою..... | 189 |
| 9.1. Основні теоретичні положення..... | 189 |
| 9.2. Приклади розв'язання задач..... | 190 |
| 9.3. Задачі для самостійного розв'язання..... | 194 |
| 10. Методика визначення категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою | 197 |
| 10.1. Основні теоретичні положення..... | 197 |
| 10.2. Приклади розв'язання задач..... | 203 |
| 10.3. Задачі для самостійного розв'язання..... | 213 |
| Розділ IV. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ | 216 |
| 11. Методика проведення ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки | 216 |
| 11.1. Основні теоретичні положення..... | 216 |
| 11.2. Приклади розв'язання задач..... | 221 |
| 11.3. Задачі для самостійного розв'язання..... | 225 |
| Додатки..... | 229 |
| Література..... | 293 |

Передмова

Навчальний посібник «Пожежна профілактика технологічних процесів об'єктів підвищеної небезпеки» Н.О.Ференц призначений для здобувачів закладів вищої освіти ДСНС України, інших навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю «Пожежна безпека».

Метою вказаного видання є допомога у засвоєнні навчальних дисциплін «Пожежна профілактика технологічних процесів», «Аудит пожежної та техногенної безпеки» освітньо-професійних програм «Пожежна безпека» та «Аудит пожежної та техногенної безпеки» першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Задачі, які викладені в навчальному посібнику, допоможуть здобувачам виконувати курсові та дипломні проекти, контрольні роботи. Матеріал посібника також може бути корисний для практичних працівників в галузі пожежної безпеки, при проектуванні та розрахунку відповідних систем протипожежного захисту.

Навчальний посібник «Пожежна профілактика технологічних процесів об'єктів підвищеної небезпеки» складається із передмови, чотирьох 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 здобувач має можливість розв'язати своє окреме завдання.

Посібник укладено відповідно до силабусу 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, четвертий – ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки. У додатках розміщено таблиці значень величин, які використовуються при розв'язанні задач.

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

Розділ I. АНАЛІЗ ВИБУХОПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

1. Оцінка вибухопожежонебезпеки середовища всередині технологічного обладнання.

1.1. Основні теоретичні положення

Умови утворення вибухопожежонебезпечних концентрацій всередині технологічних апаратів залежать від вибухопожежонебезпечних властивостей та агрегатного стану речовин, які знаходяться в технологічному процесі, конструктивних особливостей і 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 , наведені 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. 27, 28 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 (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].

Вибухопожежонебезпечні 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

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

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 апараті через дихальні пристрої надходить повітря, яке розбавляє «багаті» суміші з $\varphi_p > \varphi_e$ 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:

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

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

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

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

або

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

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:

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

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

Відносний вміст компонентів в розчині визначається за формулою:

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

або

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

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 наведені 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:

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

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:

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

при $\varphi_{\phi} \leq 0,15$ 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:

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

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

1.2. 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):

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

Відповідь. Область розповсюдження полум'я спиртоповітряної суміші, нагрітої 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

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

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 $\varphi_p = \varphi_{p.без}$:

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

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

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

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

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

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

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

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 за 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 $\varphi_H = 0,0127 \text{ об.ч.}$ 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):

$$\varphi_H^* = \frac{M \cdot \varphi_H}{V_t} = \frac{92,14 \cdot 0,0127}{24,88} = 0,047 \text{ кг / м}^3.$$

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

Задача 1.4. Визначити концентрацію насиченої пари над розчином етилового спирту в бензолі при 40 °С 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:

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

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

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

для етилового спирту:

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

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 наведених формулах 46,07 кг/кмоль і 78,11 кг/кмоль – молекулярні маси відповідно етилового спирту і бензолу (див.табл.1 додатків).

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

для етилового спирту:

при T=308 К $P_s=13332,2 \text{ Па}$,

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

Отже, при T=313 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 К $P_s=13332,2 \text{ Па}$,

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

Отже, при T=313 К

$$P_{sc} = 13332,2 + (313 - 299,9) \frac{26664,4 - 13332,2}{315,4 - 299,8} = 24613,29 \text{ Па}$$

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

для етилового спирту:

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

$$\text{для бензолу: } P_{sб}^* = P_{sб} \cdot X_{б} = 24513,29 \cdot 0,612 = 15063,3 \text{ Па}$$

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):

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

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°C утворюється вибухонебезпечна концентрація пари.

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

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

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°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):

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

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 звихненні могла утворитися вибухонебезпечна концентрація у всьому об'ємі апарата? Об'єм циклона 1,2 м³.

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

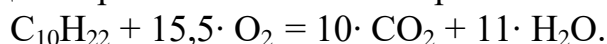
Використовуючи вираз (1.28), визначаємо масу осілого пилу в циклоні у випадку, якщо $\varphi_{ос.} = \varphi_{н.}$.

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

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):

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

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

1.3. Задачі для самостійного розв'язання

1.1. За умовами проведення технологічного процесу в змішувач надходить горючий газ та повітря. Вид горючого, витрати компонентів (G_r і $G_{ок}$) і температура (t_p) утвореної суміші наведені 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 |
| Витрата горючого газу, G_r , $\text{м}^3/\text{ГОД}$ | 200 | 400 | 300 | 80 | 350 | 550 | 150 | 300 | 200 | 200 |
| Витрата повітря, $G_{ок}$, $\text{м}^3/\text{ГОД}$ | 8000 | 1200 | 3000 | 2000 | 7000 | 4000 | 1200 | 370 | 1200 | 400 |
| Температура суміші, t_p , $^{\circ}\text{C}$ | 140 | 400 | 200 | 350 | 250 | 500 | 250 | 180 | 300 | 280 |

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

1.3. Визначити значення нижньої та верхньої меж поширення полум'я для горючого газу при температурі 250°C . 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 наведені 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, $t_p, ^\circ\text{C}$ | 40 | 50 | 30 | 30 | 60 | 75 | 40 | 50 | 65 | 80 |

Примітка. При розв'язанні задачі необхідно врахувати розбавлення 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 наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------|-------------------|---------|-----------|------------|---------|--------|----------------|-----------|--------------|-------------|
| Вид продукту | н-бутиловий спирт | н-декан | н-додекан | етилбензол | н-нонан | стирол | оцтова кислота | н-ундекан | етилцелозоль | 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 наведені 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 наведені в табл.1.6. Концентрація пилу у повітрі, яке витягується, не перевищує 10% нижньої концентраційної межі поширення полум'я. Об'єм колектора – 10 м³, інтенсивність утворення відкладень пилу – 1,2 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 пилю, г/с·10 ³ | 40 | 25 | 200 | 120 | 50 | 100 | 30 | 10 | 20 | 80 |
| φ _н , 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. Витратна посудина з пожежобезпечною рідиною, яка знаходиться на підприємстві. 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 вибухобезпечну 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 , °С | 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 |

2. Пожежна небезпека виходу горючих речовин із справних технологічних апаратів.

2.1. 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 (1.26):

$$\varphi_p \geq \varphi_n,$$

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 пари та газу 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:

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

де: I_p – інтенсивність виходу пари або газу 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_e – 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 насиченої пар, [об. частки]; t_p – робоча температура, [°C]; M – молекулярна маса рідини, [кг/кмоль]; $8314,31$ Дж / (кмоль · К) – універсальна газова стала.

Концентрація насиченої пари над поверхнею рідини визначається за формулою (1.8):

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),.

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:

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

де: G_m – кількість пари, яка виходить із заповненого апарата при малому диханні, [кг/цикл]; φ_1 – концентрація насиченої пари рідини при температурі t_1 , [об. частки]; φ_2 – концентрація насиченої пари рідини при температурі t_2 , [об. частки]; t_1, t_2 – початкова та кінцева температури, [°C]; φ_{cp} – середня концентрація насиченої пари в апараті, [об. частки]; V_ε – 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:

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

де: G_n – кількість пари, яка виходить із заповненого апарата при розгерметизації, [кг/цикл]; V_ε – 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. Маса рідини, яка випаровується з її відкритої поверхні в нерухоме середовище, визначають за формулою:

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

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

7. Маса пари рідини, що випаровується з відкритої поверхні апаратів в нерухоме та рухоме середовище, визначається за формулою:

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

де: W – інтенсивність випаровування рідини, [кг/с·м²]; F – площа поверхні випаровування рідини, [м²]; τ – тривалість випаровування рідини, [с].

Інтенсивність випаровування рідини, 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, [кг/кмоль]; 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 , [м²/с] (табл. 1 додатків); n – показник степеня, наведений 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 пари, яка надходить у приміщення (за 1 цикл великого або малого «дихання», чи при розгерметизації апарата), [кг/цикл]; N – кількість циклів (операцій) впродовж однієї 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 надходять 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 $K_{\partial} = 2$.

2.2. 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:

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

при $P_p=41 \cdot 10^5$ 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. приклад розв'язання задачі 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:

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

Молекулярні маси компонентів розчину беремо з табл.1 додатків:

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

для бензолу: $M_b = 78,11$ кг/кмоль.

Склад пароповітряної суміші знаходимо за формулою (1.8):

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

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

для повітря:

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

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: $t_{cn} = 50$ °С.

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 газом марки КО-22 з температурою 25°C не утворює вибухонебезпечної концентрації.

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

Розв'язок. За табл. 1 додатків знаходимо значення коефіцієнта дифузії пари ацетону при 0°C , 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 температурі 38°C 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°C 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°C визначаємо за формулою (2.10):

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

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 через 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 $T=295 \text{ K}$ (22°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:

$M=84,16 \text{ кг/кмоль}$;

визначаємо його молярний об'єм при 22°C за формулою (1.11):

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

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

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

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

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

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

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

$$D_{22} = D_o \left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273} \right)^n = 0,0646 \cdot 10^{-4} \left(\frac{22 + 273}{0 + 273} \right)^{1,89} =$$

$$= 0,0748 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$$

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):

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

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

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 пари 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) :

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

через $\tau=3600 \text{ с}$ (1 год) :

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

Відповідь. Загальнооб'ємна концентрація пари циклогексану в приміщенні через 15 хв становить $\varphi_\partial = 0,0089 \text{ кг/м}^3$, а через 1 год після завершення фарбування підлоги концентрація пари циклогексану в приміщенні буде становити $\varphi_\partial = 0,0148 \text{ кг/м}^3$.

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° С .

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):

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

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, [м³]; величину ΔV_p визначають за формулою:

$\Delta V_p = \varepsilon \cdot V_{geom} = 0,8 \cdot 2000 = 1600 \text{ м}^3$, де: ε – ступінь заповнення апарата; V_{geom} – 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.

Масу пари, яка випарується з резервуара протягом доби, визначаємо за формулою:

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

де: G_g – кількість парів, які надходять за 1 цикл великого дихання, [кг/цикл]; N – кількість циклів впродовж однієї 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 °C до 25 °C (мале дихання). Об'єм резервуара 100 м³, ступінь заповнення резервуара 0,7, робочий тиск $1 \cdot 10^5$ Па.

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

при температурі $t=12^\circ\text{C}$

$$P_{s1} = 133,322 \cdot 10^3 \cdot \left(A - \frac{B}{t_p + C_A} \right) = 133,322 \cdot 10^3 \cdot \left(7,352 - \frac{1660,45}{12 + 245,8} \right) = 1086,17 \text{ Па},$$

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'єднаний з атмосферою), [Па].

Середню концентрацію насиченої пари 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 пари метилового спирту, яка виходить з резервуара при малому диханні, визначаємо за формулою (2.4):

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

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

де: φ_{s1} – концентрація насиченої пари рідини при температурі t_1 , [об. частки]; φ_{s2} – концентрація насиченої пари рідини при температурі t_2 , [об. частки]; t_1, t_2 – початкова та кінцева температури, [°C]; $\varphi_{сер}$ – середня концентрація насиченої пари 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 °C до 20 °C через дихальну арматуру резервуара вийде 0,019 кг пари 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 температура бензину становить 20 °C. Визначити масу 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):

$$P_s = 133,322 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A}\right)} = 133,322 \cdot 10^{\left(8,41944 - \frac{2629,65}{20 + 382,195}\right)} = 10141,49 \text{ Па}$$

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

Визначаємо концентрацію насиченої пари метилового спирту, над поверхнею рідини за формулою (1.8) при заданій температурі:

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

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

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

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

де: $V_o = 22,4125$ [м³/кмоль] – молярний об'єм пари рідини чи газу за нормальних умов; 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 пари 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 пари бензину, яка випаровується з відкритої поверхні ванни в нерухоме середовище, визначаємо формулою (2.6):

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

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

де: ρ_t – густина пари рідини при робочій температурі, [кг/м³]; F_e – площа поверхні 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.

2.3. 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 , 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 |
| Робочий тиск, P_p , МПа | 2,0 | 4,5 | 8,0 | 0,6 | 10,0 | 1,5 | 4,0 | 2,5 | 6,0 | 32,0 |
| Температура, t_p , °С | 350 | 150 | 300 | 180 | 250 | 200 | 325 | 225 | 450 | 380 |
| Об'єм обладнання, V , м ³ | 2,5 | 6,5 | 2,0 | 8,5 | 15,0 | 10,0 | 13,0 | 7,5 | 40,0 | 6,0 |
| Кратність повітрообміну, A , год ⁻¹ | 2 | 6 | 4 | 8 | 7 | 5 | 3 | 7 | 9 | 10 |
| Розміри приміщення, $L \times V \times H$, 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 °С 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-кілол | н-пентан | толуол | бензин | н-гептан | етилацетат |
|---|--------|--------|----------|--------|---------|----------|--------|--------|----------|------------|
| Об'єм резервуара $V, \text{ м}^3$ | 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 | 0,8 | 0,6 |

2.3. Визначити об'єм місцевих зон вибухонебезпечних концентрацій, які утворюються поблизу дихального пристрою апарата, розташованого в цеху, протягом доби завдяки великим і малим «диханням». Вид продукту, геометричний об'єм апарата $V_{\text{ап}}$, ступінь його заповнення ε та робочі температури продукту і повітря вдень ($t_{\text{д}}$) та вночі ($t_{\text{н}}$) взяти з табл. 2.3. Робочий тиск в апараті – атмосферний. Апарат заповнюється щоразу наприкінці 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 |
| Об'єм апарата, $V_{\text{ап}}, \text{ м}^3$ | 50 | 100 | 75 | 200 | 50 | 20 | 40 | 60 | 80 | 150 |
| Ступінь заповнення, ε | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,9 | 0,4 |
| Температура денна, $t_{\text{д}}, \text{ }^\circ\text{C}$ | 22 | 24 | 20 | 23 | 21 | 22 | 20 | 24 | 18 | 20 |
| Температура нічна, $t_{\text{н}}, \text{ }^\circ\text{C}$ | 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 розчину, % мас. | 40 | 40 | 55 | 55 | 70 | 70 | 25 | 25 | 90 | 90 |
| Місткість змішувача, м 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, °С | 35 | 40 | 15 | 30 | 70 | 35 | 45 | 20 | 60 | 25 |
| Розміри цеху LxVxH, 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 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Геометричний об'єм, V , м ³ | 25 | 30 | 40 | 50 | 45 | 35 | 20 | 80 | 90 | 75 |
| Кількість, N | 20 | 25 | 20 | 15 | 15 | 30 | 30 | 15 | 10 | 15 |
| Ступінь заповнення, ε | 0,6 | 0,5 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,5 |
| Температура, t_3 , °С | -20 | -15 | -10 | 0 | 10 | -5 | -5 | -10 | -20 | -15 |
| Температура, $t_{п}$, °С | 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-ксилол | н-октан | бутиловий спирт | 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, $^{\circ}\text{C}$ | 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 $1,5 \text{ м} \times 0,8 \text{ м}$. Температуру повітря в приміщенні і розчинника взяти з табл. 2.7. Визначити час, протягом якого концентрація парів в приміщенні з вільним об'ємом 180 м^3 досягне гранично допустимого значення за умовами вибухобезпеки при зупинці місцевої вентиляції. Загальнообмінна вентиляція в приміщенні відсутня, а швидкість повітря вздовж поверхні випаровування не перевищує $0,1 \text{ м/с}$.

Таблиця 2.7

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура повітря і розчинника, $^{\circ}\text{C}$ | 22 | 15 | 24 | 25 | 18 | 25 | 16 | 17 | 15 | 19 |

2.8. При фасуванні готової продукції надлишок пожежонебезпечної рідини нагромаджується в піддоні розміром $2,5 \times 0,5 \text{ м}$. 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.

3. Вибухопожежна небезпека виходу горючих речовин з пошкодженого технологічного обладнання.

3.1. 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:

$$m_d = \alpha \cdot \rho_t \cdot \omega \cdot f \cdot \tau, \quad (3.1)$$

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 – площа перерізу отвору, через який рідина виходить назовні, [м²]; ω – швидкість витікання рідини з отвору, [м/с]; ρ_t – 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:

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

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

При витіканні самопливом $H_{пп} = H$ (H – висота стовпа рідини, [м]).

При роботі апарата під тиском:

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

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 $P_C > P_{KP}$:

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

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

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

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:

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

де: V_{an} – геометричний внутрішній об'єм апарата, $[m^3]$; ε – ступінь (коефіцієнт) заповнення апарата; P_p – робочий тиск середовища в апараті, $[Pa]$; q_{In} і q_{Ik} – продуктивність відповідно i -го насоса або компресора (або пропускна здатність i -го трубопроводу), який живить апарат, $[m^3/c]$; τ_i – тривалість відключення i -го збудника витрат, $[c]$; n_i – кількість збудника витрат, які живлять апарат; l_{jnp} і f_{jnp} – відповідно довжина $[m]$ і площа перерізу $[m^2]$ j -ої ділянки трубопроводу (від аварійного апарата до запірного пристрою), з якого витікає рідина або газ; ρ_p та ρ_g – відповідно густина рідини та газу при робочій температурі середовища в апараті, $[kg/m^3]$; 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 запірному пристрою на трубопроводі) або за 300 с (при ручному від'єднанні).

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

$$\tau_n = \frac{m_p}{W_g \cdot F_g}, \quad (3.11)$$

де: W_B – інтенсивність випаровування рідини, $[kg/m^2 \cdot c]$, яка визначається за формулою:

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

F_B – площа випаровування, $[m^2]$ – приймається з такого виразу:

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

де: F_p – площа рідини, яка розлилась, $[m^2]$; f_p – питома площа розлитої рідини, $[m^{-1}]$; $V_p = m_p / \rho_p$ (ρ_p – густина рідини, яка розлилась, $[kg/m^3]$); F_n – площа підлоги приміщення, $[m^2]$; a і b – довжина і ширина приміщення, $[m]$.

Величину F_p приймають, виходячи з умови, що 1 л сумішей і розчинів, які містять 70% і менше за масою розчинників, розливається на площі $0,5 m^2$, а інших рідин – на площі $1 m^2$ (тобто в першому випадку $f_p = 500 m^{-1}$, а в другому $f_p = 1000 m^{-1}$).

7. Об'єм зони, в якій може утворюватися вибухонебезпечна концентрація парів, які випарувались з розлитої рідини, визначають за формулою:

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

де: m_n – маса пари, яка випарувалась з розливої рідини, [кг]; φ_n^* – нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я, [кг/м³].

8. Тривалість утворення вибухонебезпечних концентрацій у виробничому приміщенні (при пошкодженні апаратів з газами або паром) 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:

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

де: τ_r – тривалість нарощування вибухонебезпечних концентрацій у приміщенні, [с]; V_e – вільний об'єм приміщення, [м³]; φ_n – нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я горючої речовини, [об.частки]; q – інтенсивність надходження пари або газів у приміщення, де знаходиться апарат, [м³/с]:

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

$$\text{або} \quad q = \frac{m_z}{\rho_z \cdot \tau} \quad (3.17)$$

де: a – продуктивність вентиляційної системи, [м³/с].

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

$$m = m_{зв} + m_{ав}, \quad (3.18)$$

де: $m_{зв}$ – розрахункова маса звихреного пилу, [кг]; $m_{ав}$ – розрахункова маса пилу, який надійшов в приміщення в результаті аварійної ситуації, [кг];

Розрахункова маса $m_{зв}$ [кг] звихреного пилу визначається за формулою:

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

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

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

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

де: $m_{ан}$ – 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:

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

де: K_G – 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; за 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:

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

де: $V_{\text{в}}$ – 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 безпечно для людей масу $m_{\text{без}}$ таких речовин визначають за формулою:

$$m_{\text{без}} = \frac{150 \cdot V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{г},n} \cdot \varphi_{\text{ст}}}{(\mu - 1) \cdot z}, \quad (3.26)$$

де: $\rho_{\text{г},n}$ – густина пари або газу при температурі повітря в приміщенні $t_{\text{в}}$, [кг/м³]; $\varphi_{\text{ст}}$ – стехіометрична концентрація горючої речовини в повітрі, яка обчислюється за формулою:

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

де: $\beta = n_{\text{с}} + \frac{n_{\text{н}} - n_{\text{г}}}{4} - \frac{n_{\text{о}}}{2}$ – стехіометричний коефіцієнт при кисні в реакції (F, Cl, Br, I) в молекулі горючого; μ – ступінь підвищення тиску при вибуху в замкнутому об'ємі, визначається з виразу:

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

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

3.2. Приклади розв'язання задач

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

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

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

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

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

$$\rho=790,5 \text{ кг/м}^3$$

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: $P_p=0,2$ 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: $H=4$ 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):

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

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

Відповідь. Маса ацетону, який витікає через отвір у днищі апарата за 900 с, становить $m_n = 177,8$ 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 $d_{вн}=0,05$ м. Від'єднання насоса і засувок на трубопроводі – ручне. Об'єм апарата $V_{ап}=0,5$ м³, ступінь його заповнення продуктом $\varepsilon=0,7$, продуктивність насоса $q_n=0,3$ л/с, довжина трубопроводу, який живить апарат, $l_{тр}=10$ м, температура продукту $t=20$ °С.

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

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

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:

$$V_p = V_{ан} \cdot \varepsilon + q_{iH} \cdot \tau_i + l_{jTP} \cdot f_{jTP}$$

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: $V_{\text{ан}}=0,5 \text{ м}^3$, $\varepsilon=0,7$, $q_{\text{н}}=0,3 \text{ л/с}$, $l_{\text{тр}}=10 \text{ м}$, $\tau=300 \text{ с}$ – за умовою задачі.

Виходячи з того, що 1 л ацетону може розлитися на площі 1 м^2 підлоги приміщення ($f_p=1000 \text{ м}^{-1}$), 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 $t=15^\circ\text{C}$, тиск $P_p=12 \text{ МПа}$, діаметр трубопроводу $d_{\text{тр}}=100 \text{ мм}$, вільний об'єм приміщення $V_{\text{в}}=7000 \text{ м}^3$, коефіцієнт витрати 0,65.

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

Визначаємо критичний тиск за формулою (3.6):

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

де: $P_p=12 \text{ МПа}$ – за умовою задачі.

Знаходимо молекулярну маса етилену за табл. 1 додатків: $M=28,05 \text{ кг/кмоль}$.

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 ($P_c=0,1 \text{ МПа}$) < ($P_{\text{кр}}=6,65 \text{ МПа}$) витікання газу відбувається з критичною швидкістю.

Швидкість витікання етилену визначаємо за формулою (3.5):

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

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

Визначаємо площу перерізу трубопроводу:

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

де: $d_{\text{тр}}=0,01 \text{ м}$ – 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: $\varphi_{\text{н}}=0,03 \text{ об.ч.}$

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

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

де $V_v = 7000 \text{ м}^3$ – 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:

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

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

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

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

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

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 $\varphi_p = 0,714$ об.ч. (71,4 % об.).

Задача 3.5. Визначити масу толуолу, який надходить в приміщення при повному руйнуванні апарата об'ємом $V_{\text{ап}}=3$ м³ під час його заповнення продуктом по трубопроводу діаметром $d_{\text{вн.}}=0,05$ м. Від'єднання насоса і засувок автоматичне. Ступінь заповнення апарата до моменту аварії $\varepsilon=0,9$. Витрата $q=0,05$ л/с, довжина трубопроводу (від апарата до засувки) $l_{\text{тр}}=10$ м. Температура продукту в апараті $t_p=20^\circ\text{C}$.

Розв'язок. Визначаємо площу перерізу нагнітального трубопроводу:

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

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

З табл.4 додатків знаходимо густину толуолу при робочій температурі $t=20^\circ\text{C}$: $\rho=865,8$ кг/м³.

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

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

$$m_p = \left(V_{\text{ап}} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{\text{ін}} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{\text{jmp}} \cdot f_{\text{jmp}} \right) \rho_p =$$

$$= (3 \cdot 0,9 + 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 120 + 10 \cdot 1,96 \cdot 10^{-3}) \cdot 865,5 = 2532 \text{ кг}$$

де: $V_{\text{ап}}=3$ м³; $\varepsilon=0,9$; $l_{\text{тр}}=10$ м; $q=0,05$ л/с= $0,0005$ м³/с – за завданням.

Відповідь. При повному руйнуванні апарата в приміщення надійде 2532 кг 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 30x40x5 м, температура повітря в приміщенні 20°C, об'єм апарата 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 під час аварії, за формулою (3.9):

$$m_p = \left(V_{\text{ап}} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{\text{ін}} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{\text{JTP}} \cdot f_{\text{JTP}} \right) \cdot \rho_P =$$

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

де: $V_{\text{ап}}=3$ м³; $\varepsilon=0,9$; $l_{\text{тр}}=10$ м; $q=0,05$ л/с= $0,0005$ м³/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.

3.3. Задачі для самостійного розв'язання

3.1. Визначити об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій, який може утворитися внаслідок повного випаровування горючої рідини, яка вилілась назовні при локальному пошкодженні днища апарата (аварія ліквідована через 10 хв). Вентиляція в приміщенні відсутня. Вільний об'єм приміщення (850·N) м³, а площа підлоги (120·N) м² (де N – номер варіанта задачі). Діаметр отвору в днищі апарата d, вид ЛЗР, робочий тиск в апараті P_p, температура рідини і повітря в приміщенні t_p, а також висота стовпа рідини Н 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 |
| Діаметр отвору, d, м | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5 |
| Робочий тиск, P _p , МПа | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,55 |
| Температура, t _p , °С | 20 | 18 | 26 | 20 | 22 | 18 | 20 | 28 | 26 | 22 |
| Висота стовпа рідини, Н, м | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 |

3.2. Визначити об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій і за необхідності тривалість утворення вибухонебезпечних концентрацій у всьому об'ємі виробничого приміщення при локальному пошкодженні апарата з горючим газом (пошкодження ліквідоване через 15 хв).

Приміщення обладнане аварійною вентиляцією кратністю А год⁻¹. Вид горючого газу, діаметр отвору в стінці апарата d_{отв.} м, робочий тиск в апараті P_p МПа,

геометричний об'єм приміщення V_r м³ наведені в табл. 3.2. Коефіцієнт витрати вважати рівним 0,65, а температуру газу в апараті – рівною 20°C.

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 |
| Діаметр отвору, $d_{отв.}$, м | 15 | 20 | 25 | 30 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 15 |
| Робочий тиск, P_p , МПа | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,5 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,4 | 0,9 |
| Об'єм приміщення, V_r , м ³ | 600 | 900 | 1200 | 2000 | 1500 | 1200 | 1600 | 2000 | 2400 | 800 |
| Кратність вентиляції, 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 |
| Площа отвору, $f_{отв.}$, м ² | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| Витрата, q , м ³ /год | 0,5 | 2,6 | 10,7 | 8,8 | 6,9 | 12,0 | 4,1 | 7,2 | 8,3 | 1,4 |
| Розрідження, $P_B \cdot 10^{-3}$, 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 засувок 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 повітря, °С | 18 | 20 | 25 | 17 | 22 | 23 | 21 | 26 | 19 | 24 |
| 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/м^3 . Насипна щільність пилу 350 кг/м^3 . За період часу між прибираннями товщина шару пилу на доступних для прибирання поверхнях площею 1000 м^2 становила $\delta_{д}$ мм, а на недоступних для прибирання поверхнях площею 400 м^2 – $\delta_{н}$ мм.

Таблиця 3.6

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\delta_{д}$, мм | 0,1 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 0,12 | 0,03 | 0,09 | 0,08 | 0,1 | 0,11 |
| $\delta_{н}$, 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 $V_{в}$ 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 | |
| $P_{р}$, МПа | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 2,8 | 1,8 | 1,2 | 0,8 | 1,1 |
| Вміст розчинника, X , % мас. | 60 | 80 | 50 | 75 | 65 | 85 | 60 | 85 | 50 | 80 |
| $V_{в} \cdot 10^{-3}$, м^3 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 1,0 | 1,6 | 0,8 | 1,3 | 1,4 | 1,8 |
| Температура, $t_{п}$, $^{\circ}\text{C}$ | 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_B , температуру повітря в приміщенні t_n 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_n , °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 τ .

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 |

4. Причини пошкодження технологічного обладнання.

4.1. 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 (4.6) 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, [°C]; 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 °C, а для високолегованих сталей 525 °C, то нормативним допустимим напруженням вважають найменше з таких значень:

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

де: $\sigma_{дон}$ – нормативне допустиме напруження, [Па]; σ_m , σ_t – відповідно границя міцності і текучості матеріалу, [Па]; n_m , n_t – 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 $n_t = 1,2 - 1,9$.

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 труб; 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].

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

де: d_n і d_g – 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:

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

де: D_g – 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 $(\beta = \frac{D_n}{D_g}) > 1,5$, можна розрахувати за формулами (при перепаді температур по товщині стінки більше 10 °C):
на внутрішній поверхні

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

на зовнішній поверхні

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

де: індекси g і n 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 $|\sigma_t^g| > [\sigma]$ або $|\sigma_t^n| > [\sigma]$ 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:

$$\text{при } (\beta=D_H/D_B)\leq 1,5 \quad \sigma = \frac{P \cdot [D_6 + (s - c)]}{2 \cdot (s - c) \cdot \varphi}; \quad (4.29)$$

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

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].

4.2. 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:

$$d_2 = d_1 \cdot (1 - \varepsilon) = 0,025 \cdot (1 - 0,6) = 0,01 \text{ м},$$

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

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

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

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°C : $\rho_t=879$ кг/м³; за табл. 11 додатків знаходимо в'язкість бензолу: $\mu=0,7 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

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

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{\text{вн1}}}{\nu} = \frac{2 \cdot 0,025}{0,685 \cdot 10^{-6}} = 7,3 \cdot 10^4,$$

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{\text{вн2}}}{\nu} = \frac{12,5 \cdot 0,01}{0,685 \cdot 10^{-6}} = 1,8 \cdot 10^5,$$

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 становить $\Delta P = 11,88 \text{ МПа}$.

Задача 4.2. Визначити кінцевий тиск в апараті, який повністю заповнений скрапленим аміаком. Відомо, що початковий тиск дорівнював 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 дорівнює $11 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$. 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:

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

$$\text{при } T_{\text{к}} = 323 \text{ К} \quad \beta_2 = 0,00217 \text{ К}^{-1};$$

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

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

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

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

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

Визначаємо приріст тиску в апараті за формулою:

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

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

Відповідь. Кінцевий тиск становить $P_{\text{к}} = 63,04 \text{ МПа}$, 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 етилового спирт – вода. Ступінь неповноти конденсації $\alpha=5\%$. Вільний об'єм колони 50 м^3 ; температура внизу колони 395 K , вгорі колони 360 K . Тиск в колоні (при нормальному режимі роботи) $P_{\text{р}}=0,16 \text{ МПа}$; продуктивність колони (по парі етилового спирту) $C_{\text{п}}=6 \text{ кг/с}$; 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:

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

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

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

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

Задача 4.4. Оцінити можливість руйнування апарата об'ємом 20 м^3 , який на 80% заповнений кам'яновугільним маслом (при температурі 593 K), якщо до нього помилково було подано низькокиплячу рідину – етилбензол. Кількість етилбензолу, який потрапив до апарата, $m=90 \text{ кг}$. Робочий тиск в апараті $P_{\text{р}}=0,75 \text{ МПа}$. 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;

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:

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

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 $\beta_{ст}=0,74 \cdot 10^{-9}$ 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:

$$F = \frac{\pi \cdot D_6}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_3 - 2 \cdot s)^2 = \frac{3,14}{4} \cdot (0,82 - 2 \cdot 0,01)^2 = 0,503 \text{ м}^2,$$

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):

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

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

де: $D_6 = D_3 - 2 \cdot s = 0,82 - 2 \cdot 0,01 = 0,8$ м.

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

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

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 гідроударі значно перевищує допустимий тиск ($P_k = 9,25$ МПа) > ($P_2 = 5,6$ 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:

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

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 через температурні напруження, 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):

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot [(D_B^2 - z \cdot d_3^2) \cdot P_M + z \cdot d_3^2 \cdot P_T] =$$

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

Визначаємо напруження в корпусі за формулою (4.21):

$$\sigma_{\max}^K = \frac{P_t}{F_k} \pm \frac{P \cdot E_K}{E_K \cdot F_k + E_m \cdot F_m} =$$

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

Визначаємо напруження в трубах за формулою (4.22):

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

$$= -35,6 \text{ МПа}.$$

Відповідь. Напруження в корпусі кожухотрубчастого теплообмінника з нерухомими трубними решітками становить $\sigma_{\max}^k = -111,1 \text{ МПа}$, 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 $D_3 = 2,1$ м, внутрішній $D_в = 1,3$ м. В момент пошкодження корпусу апарата зареєстровані такі значення температур: внутрішньої поверхні $t_в = 580$ °С, зовнішньої $t_3 = 500$ °С. Прийняти для матеріалу апарата $[\sigma] = 75 \text{ МПа}$, $\alpha = 14 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, $\mu = 0,32$.

Розв'язок

Визначається $\beta = \frac{D_н}{D_г} = \frac{2,1}{1,3} = 1,615$.

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

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

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

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

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

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

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

де: $\alpha = 14 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$, $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, $\mu = 0,32$, $t_в = 580$ °С, $t_3 = 500$ °С – 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.

4.3. 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 | |
| $t_p, ^\circ\text{C}$ | 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 $P_{\text{п}}=1,0$ МПа. Прийняти коефіцієнт стисненості повітря $z=0,87$.

Вид скрапленого газу, початкова $t_{\text{п}}$ і кінцева $t_{\text{к}}$ 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_v , робоча температура t_p , 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 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Розрідження, P_v , МПа | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,04 |
| Робоча температура, t_p , $^\circ\text{C}$ | 430 | 420 | 410 | 400 | 390 | 430 | 420 | 410 | 400 | 390 |
| Внутрішній діаметр колони, D , м | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 1,4 | 1,5 |
| Висота колони, H , м | 21 | 20 | 18 | 22 | 20 | 17 | 18 | 15 | 20 | 22 |
| Ступінь заповнення, ε | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |
| Діаметр паропроводу, d , мм | 80 | 90 | 110 | 100 | 90 | 80 | 120 | 100 | 80 | 110 |
| Відстань до засувки, 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) наведені 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 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Робочий тиск, P_p , МПа | 4,5 | 3,5 | 4,0 | 3,0 | 5,0 | 5,5 | 3,5 | 4,0 | 6,0 | 5,0 |
| Продуктивність, $Q \times 10^{-3}$, м ³ /год | 4 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Зовнішній діаметр, D_3 , м | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| Товщина стінки, 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 наведені 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 $s_k = 5$ мм. Фактична товщина стінок труб $s_T = 5$ 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 сталевого 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 наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7

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

5. Виробничі джерела запалювання.

5.1. 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 пилу, 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:

$$\begin{cases} \lg t_c = A_p + n_p \cdot \lg S \\ \lg \tau_c = \frac{1}{n_e} \cdot (A_e - \lg t_c) \end{cases} \quad (5.11)$$

де: t_c – мінімальна температура середовища, при якій спостерігається самозагоряння речовини, [°C]; A_p , n_p , A_e , n_e – емпіричні константи, значення яких визначаються за довідником (наведені 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].

5.2. 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 ділянки 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 $200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; 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 $0,06 \text{ м}^2$; 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: $f=0,15$; $N=3000 \text{ Н}$; $d=40 \text{ мм}=0,04 \text{ м}$; $n=5500 \text{ об/хв}$ – за умовою.

Визначаємо максимальну температуру підшипника ковзання за 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: $t_c=20^\circ\text{C}$; $\alpha=200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $F=0,06 \text{ м}^2$ – 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 за 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 °C.

Аналогічно визначається максимальна температура підшипників при підвищеному у два рази навантаженні, яка становитиме 77,8 °С.

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 індустріальну оливу марки 20. Кінцевий тиск стиснення в компресорі становить 0,55 МПа, а початкова температура повітря 35°С. Оцінити вибухопожежну небезпеку процесу стиснення повітря у випадку порушення режиму охолодження компресора.

Розв'язок

За довідником визначаємо температуру спалаху оливи індустріальної марки 20: $t_{\text{сп}}=158^\circ\text{C}$.

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):

$$\begin{aligned} t_k &= (t_n + 273) \cdot \left(\frac{P_k}{P_n} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 273 = \\ &= (273 + 35) \cdot \left(\frac{0,55}{0,1} \right)^{\frac{1,26-1}{1,26}} - 273 = 164,8 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

де: 0,1 МПа – початковий (атмосферний) тиск повітря.

Відповідь. Таким чином, при нагріванні компресора до температури 164,8°С в пароповітряному просторі картера, що заповнений оливою індустріальною марки 20, утворюється вибухонебезпечна концентрація, оскільки $(t_k=164,8^\circ\text{C}) > (t_{\text{сп}}=158^\circ\text{C})$.

Задача 5.6. Компресор повинен стискати горючу водневоповітряну суміш з початковим тиском $P_n=0,09$ МПа до тиску $P_k=30$ МПа. Концентрація водню в суміші становить 5 % об. Початкова температура суміші 15°С. Робоча температура 130 °С. Проаналізувати вибухопожежну небезпеку процесу стиснення газу в цьому 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 поліакрилонітрилу), 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 теплового 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 теплоізолюваного дна бункера-нагромаджувача і не бере участі в теплообміні з навколишнім середовищем, в теплообміні буде брати участь лише 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: $r = 2 \text{ м}$ – радіус основи конуса,
 $h = 1,4 \text{ м}$ – висота конуса.

За формулою (5.12) обчислюємо питому поверхню матеріалу:

$$S = \frac{F}{V} = \frac{15,34}{5,86} = 2,62 \text{ м}^{-1}.$$

$$S = F / S = 15,34 / 5,86 = 2,62 \text{ м}^{-1}.$$

Відповідь. Питома поверхня матеріалу $S = 2,62 \text{ м}^{-1}$.

Задача 5.8. В технологічному процесі сипкий матеріал – полінак (порошок смоли поліакрилонітрилу), який схильний до теплового самозагоряння, з допомогою шнекового живильника подається в бункер-нагромаджувач готової продукції. Визначити показники пожежної небезпеки матеріалу і безпечні умови його зберігання за умови, що об'єм максимально можливої кількості цього 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 теплового самозагоряння порошку полінаку:

$$\lg t_c = A_p + n_p \cdot \lg S = 1,956 + 0,113 \cdot \lg S ;$$

$$\lg t_c = A_g + n_g \cdot \lg \tau = 2,230 + 0,10 \cdot \lg \tau$$

де: $A_p=1,956$; $n_p=0,113$; $A_g=2,230$, $n_g=0,1$ (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:

$$S = F / S = 11,11 / 3,63 = 3,06 \text{ м}^{-1}.$$

Визначимо мінімальну температуру навколишнього середовища, при якій здійснюється теплове самозаймання цього 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:

$$\lg t_c = A_g + n_g \cdot \lg \tau = 2,230 + 0,10 \cdot \lg \tau ;$$

$$2,011 = 2,230 + 0,10 \cdot \lg \tau$$

$$\lg \tau_c = \frac{1}{0,1} \cdot (2,230 - \lg t_c) ; \quad \lg \tau_c = \frac{1}{0,1} \cdot (2,230 - 2,011) = 2,19$$

$\tau_c = 10^{2,19} = 154,9 \text{ год} \approx 6,5 \text{ діб}$, 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:

$$t_{p,без} \leq 0,8 \cdot t_c = 0,8 \cdot 102,5 = 82^\circ C.$$

Визначаємо за формулою (5.7) температуру самонагрівання порошку полінаку:

$$\lg t_c = A_p = 1,956; \quad t_c = 90,4^\circ C$$

Знайдемо безпечну температуру матеріалу, що надходить в бункер-нагромаджувач. Ця температура не повинна перевищувати 90% температури самонагрівання:

$$t_{c,без} \leq 0,9 \cdot t_c = 0,9 \cdot 90,4 = 81,4^\circ C$$

Висновок. Отже, порошок полінаку в бункері-нагромаджувачі не самозайметься, тому що виконуються безпечні умови його зберігання ($t_p = 60^\circ C < t_{c,без} = 81,4^\circ C$).

5.3. 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 $25^\circ C$. Діаметр шийки вала 40 мм. Вид горючого матеріалу та інші дані для розрахунку наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

| № 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, c^{-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 теплообміну, m^2 | 0,08 | 0,1 | 0,15 | 0,15 | 0,05 | 0,06 | 0,12 | 0,14 | 0,05 | 0,07 |
| Матеріал тіл, 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. 5.1. Інші дані для розрахунку наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

| № 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, 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 цьому компресорі з точки зору можливості появи джерела запалювання і за необхідності запропонувати, обґрунтувавши розрахунками, пожежовибухобезпечний варіант проведення процесу стиснення даної метаноповітряної суміші. В табл. 5.3. наведені температура спалаху індустриального масла, що використовується для змащування компресора, інші дані для розрахунку.

Таблиця 5.3

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|---|------------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|
| Температура спалаху, t _{сп} , °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 8х4 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 початкова температура t_p і тривалість зберігання τ наведені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|--------------------|------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|----------------|-----------------------------|------------------|--------------------|
| Продукт | борошно кормове | вітамін В2 | повість будівельна | гіпсолермін (крихта) | диспергатор НФ | іонообмінна смола | кормогризин 10 | борошно вітамінне хвойне | тирса соснова | солома пшенична |
| Початкова температура, $t_p, ^\circ\text{C}$ | 65 | 50 | 51 | 60 | 45 | 65 | 55 | 58 | 70 | 35 |
| Тривалість зберігання, τ , діб | 100 | 40 | 140 | 42 | 95 | 180 | 22 | 30 | 5 | 6,5 |

Примітка. Теплопровідність та пожежонебезпечність матеріалу крафт-мішків не враховувати.

Розділ II. ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ ВІД ПОЖЕЖІ.

6. Захист технологічних комунікацій і технологічних апаратів від поширення пожежі.

6.1. 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·К]; 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·К)]. 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·К)], (табл. 10 додатків); C_p – питома теплоємність горючої суміші при постійному тиску, [Дж/кг·К]. 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·К)]; значення теплоємності деяких горючих речовин наведені в табл. 10 додатків; $C_{p,n}$ – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К), (табл. 10 додатків).

Питома газова стала горючої газоповітряної суміші, [Дж/(кг·К)], 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:

$$d_{сп} = (3...4) \cdot d, \quad (6.6)$$

де: $d_{кр}$ – 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 наведені 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:

$$Re = \frac{4 \cdot \omega_\phi \cdot \rho_t}{\mu \cdot S}, \quad (6.10)$$

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:

$$\mu_s = \mu_o \cdot \frac{t_o + C}{t_p + C} \sqrt{\left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273}\right)^3}, \quad (6.12)$$

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 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. 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:

$$\omega_{\phi} = \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{(100 \dots 300) \cdot d_e}{2 \cdot \lambda \cdot H \cdot \rho_t}}, \quad (6.18)$$

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:

$$H_{np} = \frac{P_n}{\rho_p \cdot g} + H, \quad (6.21)$$

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: $\zeta_{сист}$ – коефіцієнт опору системи, який визначається за формулою:

$$\zeta_{сист} = \sum_1^n \zeta_i \cdot \left(\frac{d_{вих}}{d_i}\right)^4 + \sum_1^n \frac{\lambda_i \cdot l_i}{d_i} \zeta_i \cdot \left(\frac{d_{вих}}{d_i}\right)^4, \quad (6.23)$$

де: ζ_i – коефіцієнт місцевого опору на ділянці, яка розглядається; значення коефіцієнтів місцевих опорів наведені в табл. 16 додатків; $d_{вих}$ – 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:

$$\omega = 2,22 \cdot \varphi_{сист} \cdot \left(\sqrt{H_{np1}} + \sqrt{H_{np2}} \right) \quad (6.24)$$

4. Діаметр аварійного трубопроводу d_{mp} визначають за формулою:

$$d_{mp} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_p}{\tau_{спор.м.} \cdot \varphi_{сист} \cdot \left(\sqrt{H_{np1}} + \sqrt{H_{np2}} \right)}} \quad (6.25)$$

де: V_p – об'єм рідини, яка зливається, [м³].

Величину $\varphi_{сист}$ орієнтовно визначають за формулою:

$$\varphi_{сист} \approx \sqrt{\frac{1}{1 + 3 \cdot \zeta_c}} \quad (6.26)$$

5. Тривалість спорожнення горизонтального циліндричного резервуара (цистерни) визначають за формулою:

$$\tau_{спор} = \frac{0,301 \cdot L_{ц} \cdot D_{ц}}{\varphi_{сист} \cdot f_{вих} \cdot \sqrt{D_{ц} + H}}, \quad (6.27)$$

де: $L_{ц}, D_{ц}$ – 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:

$$\tau_{спор} = \frac{0,189 \cdot D_{к}}{\varphi_{сист} \cdot f_{вих} \cdot \sqrt{D_{к} + H}}, \quad (6.28)$$

де: $D_{к}$ – діаметр кульового резервуара, [м].

Тривалість спорожнення конічного апарата 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 $[\tau]_{вин.} = 300$ [с]; P_c – тиск середовища, у який викидаються гази чи пари з апарата, [Па] (при викиді в атмосферу $P_c = P_{бар}$); $P_{кр}$ – критичний тиск, [Па].

Якщо $P_c > P_{кр}$, то швидкість витікання парів чи газів з апаратів буде меншою за критичну. У такому випадку в рівнянні (6.31) величина $\tau_{вик.}^{докр}$ 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:

$$\Delta V_t = \frac{P_{max} - P_{руйн}}{P_c}, \quad (6.35)$$

або

$$\Delta V_t = \Delta V_{t,2} - \frac{P_{руйн}}{P_c}, \quad (6.36)$$

де: $P_{макс}$ – максимальний тиск вибуху горючого середовища в апараті, [Па]; значення $P_{макс}$ деяких парогазоповітряних сумішей (залежно від складу) наведені в табл. 21 додатків; $P_{руйн.}$ – тиск руйнування мембран [Па] приймають таким:

| Робочий тиск, P_p . | Руйнівний тиск, $P_{руйн.}$ |
|----------------------------------|-----------------------------|
| $P_{бар} (V_B < 30 \text{ м}^3)$ | 0,11 МПа |
| $P_{бар} (V_B > 30 \text{ м}^3)$ | 0,105 МПа |
| Менше 0,17 МПа | $P_p + 0,03$ МПа |
| 0,17 МПа і більше | $1,25P_p$ |

$\Delta V_{t,2}$ – об'єм газоподібних продуктів, які утворюються при згорянні (вибуху) 1 м³ горючої суміші стехіометричного складу, [м³/м³]; величину $\Delta V_{t,2}$ за формулою:

$$\Delta V_{t,2} = \frac{P_{руйн}}{P_c} \cdot \frac{T_{вибуху}}{T} \cdot \frac{\sum m_i}{\sum n_i}, \quad (6.37)$$

де: $T_{вибуху}$ – температура вибуху, [K]; $\sum m_i, \sum n_i$ – кількість молів (відповідно) продуктів згорання 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:

$$\tau = 4,64 \cdot \tau_o \cdot \sqrt[3]{V_v} . \quad (6.38)$$

Час досягнення максимального тиску вибуху у великогабаритних апаратах (наприклад, резервуарах) визначають за формулою:

$$\tau = \frac{0,31}{\omega_n \cdot V_{t,z}} \cdot \sqrt[3]{V_v} \quad (6.39)$$

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:

$$F = f \cdot V_v . \quad (6.42)$$

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.

6.2. Методика розрахунку гравійного вогнеперешкоджувача

Виробничі пароповітряні комунікації захищають від розповсюдження полум'я сухими вогнеперешкоджувачами: 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 і-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, галоїдів і кисню.

В цьому випадку
$$\varphi_2 = \frac{1}{(1 + 4,84 \cdot \beta)}.$$

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 каналів 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_r і при температурі t_o , при якій вони наведені в довідковій літературі, [Па·с]. Значення коефіцієнта динамічної в'язкості і константи С 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; М – молекулярна маса компонента; молекулярна маса повітря $M_p = 28,96$ 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:

$$\text{при } Re \leq 40 \quad \lambda_r = 140 / Re,$$

$$\text{при } Re > 40 \quad \lambda_r = 16 / Re^{0,2}$$

14. Визначаємо еквівалентний діаметр вогнегасних каналів у шарі гранул:

$$d_e = 4 \cdot \epsilon / S, \text{ [м]}.$$

15. Приймаємо висоту шару гранул у вогнеперешкоджувачі:

$$H = (40 \div 50) \cdot d_{cp}, \text{ [м]}.$$

16. Уточнюємо значення фіктивної швидкості горючої суміші в насадці вогнеперешкоджувача:

$$\omega_\phi' = 1,41 \cdot \epsilon \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot d_e}{\lambda_r \cdot H \cdot \rho_t}},$$

де: ΔP – втрати напору в шарі гранул, [Па]; втрати напору не повинні перевищувати 100 – 200 Па.

17. Визначаємо похибку при заданні 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:

$$D = \max \left[\sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_\phi}}; 20 \cdot d_{cp} \right],$$

де: Q – витрата горючої суміші трубопроводу, що захищається, [м³/с].

19. Визначаємо дійсну швидкість газової суміші в вогнеперешкоджувачі: $\omega = \omega_\phi / \epsilon$.

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].

6.3. 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 можуть стати джерелом запалювання.

Безперервна відбивна завіса може бути одноярусною, якщо висота небезпечної зони не перевищує 10 м і двоярусною, якщо висота небезпечної зони є 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 $\varphi_{\text{сист}} = 0,6$;
- швидкість витікання водяної пари через отвори $\omega_{\text{п}} = 200$ м/с;
- питома витрата водяної пари $q_{\text{п}} = 100$ кг/(м²·с);
- швидкість витікання атмосферного повітря $\omega_{\text{пов}} \leq 1,5$ м/с.

2. Виходячи з конструктивних особливостей печі і її розташування на виробничому майданчику, визначають висоту захисної зони за формулою:

$$H = H_{\text{max}},$$

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 $l = 0,25 \cdot H_{\text{max}}$ 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. Обчислюють діаметр випускного отвору в трубопроводі безперервної відбивної завіси за формулою:

$$d_{\text{н}} = 0,001 \cdot H.$$

4. Визначають відстань між осями випускних отворів:

$$l_{\text{н}} = 50 \cdot d_{\text{н}}.$$

5. Розраховують кількість отворів у перфорованому трубопроводі за формулою :

$$n_{\text{н}} = \frac{L}{l_{\text{н}}} + 1$$

6. Обчислюють загальну витрату водяної пари в [кг/с] на створення безперервної відбивної завіси за формулою:

$$Q_{\text{н}} = 78,5 \cdot d_{\text{н}}^2 \cdot n_{\text{н}}.$$

7. Визначають внутрішній діаметр труби перфорованого паропроводу безперервної відбивної завіси за формулою:

$$d_{\text{вн}} = 1,772 \cdot \sqrt{d_{\text{н}}^2 \cdot n_{\text{н}}}.$$

За табл. 22 додатків підбирають труби для виготовлення перфорованого паропроводу, внутрішній діаметр $d_{вн}$ 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) за формулою:

$$x_i = 2 \cdot A_i,$$

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 за формулою: $d_{ли} = 0,01 \cdot x_i$.

11. Визначають загальні витрати водяної пари на створення локальних флегматизуючих завіс для захисту всіх небезпечних зон за формулою :

$$Q_{л} = 78,5 \sum_{i=1}^k d_{ли}^2 \cdot n_i,$$

де: n_i – кількість захисних зон одного виду; k – число видів захисних зон.

12. Порівнюють знайдені величини $Q_{н}$ і $Q_{л}$. Якщо $Q_{л} \geq Q_{н}$, то локальну флегматизуючу завісу не слід застосовувати. У протилежному випадку ($Q_{н} > Q_{л}$) локальна завіса буде більш економічною порівняно з безперервною відбивною завісою.

13. Приймають діаметр підвідного трубопроводу, рівний $d_{вн}$ і проводять його трасування від паропровідної мережі підприємства до розподільчого колектора системи парового захисту.

14. Визначають середню швидкість руху водяної пари по підвідному трубопроводу за формулою:

$$\omega = \frac{Q}{0,785 \cdot d_{вн}^2 \cdot \rho_{тср}},$$

де: Q – загальна витрата водяної пари на створення безперервної відбивної завіси $Q_{н}$ або локальної флегматизуючої завіси $Q_{л}$ [кг/с]; $\rho_{тср}$ – густина насиченої водяної пари при середньому тиску її в паропровідній мережі підприємства і розподільчому колекторі.

$$P_{сп} = \frac{P_{п}}{2} + 1 \cdot 10^5,$$

де: $P_{п}$ – тиск пари в паропровідній мережі підприємства, [Па].

Значення величини $\rho_{тср} = f(P_{сп})$ 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 за формулою :

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{вн}}{\nu},$$

де: ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості водяної пари [$\text{м}^2/\text{с}$], що приймається за довідковими даними (табл.9 додатків).

17. Залежно від величини числа Re визначають коефіцієнт опору тертя λ за формулами:

$$\text{при } Re \leq 2300 \quad \lambda = \frac{64}{Re} ;$$

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

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

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 обчислюють сумарний коефіцієнт місцевих опорів за формулою :

$$\zeta_c = \sum_{i=1}^n N \cdot \zeta_i ;$$

де: N – кількість місцевих опорів одного типу; ζ – числове значення i -го коефіцієнта; n – число видів місцевих опорів.

19. Визначають коефіцієнт опорів паропроводу за формулою:

$$\zeta_{\text{сум}} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} \sum_{i=1}^n l_i ,$$

де: l_i – довжина i -ої лінійної ділянки трубопроводу, [м]; n – число лінійних ділянок.

20. Розраховують втрати тиску в підвідному паропроводі ΔP за формулою:

$$\Delta P = \zeta_{\text{сум}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_{\text{сп}}}{2} .$$

21. Визначають допустимі втрати тиску в підвідному трубопроводі $[\Delta P]$ за формулою:

$$[\Delta P] = P_n - P_k$$

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 $d_{ли}$, [м];
- витрати пари $Q_{л}$, [кг/с];
- діаметр підвідного паропроводу $d_{вн}$, [м];
- тиск пари в мережі підприємства P_n , [Па];
- втрати тиску в підвідному паропроводі ΔP , [Па].

6.4. Методика розрахунку системи аварійного зливу рідин

Для обмеження розвитку пожежі на виробництві застосовують аварійний злив легкозаймистих та горючих 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 за формулою :

$$V_p = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \varepsilon_i,$$

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. Обчислюють сумарний коефіцієнт місцевих опорів за формулою :

$$\zeta_c = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \zeta_i,$$

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. Розраховують максимально допустиму тривалість аварійного спорожнення апарата:

$$\tau_{спор.м.} = [\tau]_{зл} - \tau_{опер.},$$

де: $\tau_{спор.м.}$ – максимально допустима тривалість аварійного спорожнення апарату, [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];

$\tau_{опер.}$ – тривалість операцій із приведення системи в дію, яка на діючому виробництві складається із часу виявлення аварійної ситуації $\tau_{вияв.н.}$, прийняття рішення $\tau_{н.р.}$, продування (за необхідності) системи інертним газом $\tau_{нр}$ та відкриття привідних засувок $\tau_{н.з.}$:

$$\tau_{опер.} = \tau_{вияв.н.} + \tau_{н.р.} + \tau_{нр} + \tau_{н.з.}$$

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.

6. Подальші розрахунки проводять з використанням методу послідовних наближень, для чого оцінюють коефіцієнт витрат системи аварійного зливу за формулою:

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1 + 3 \cdot \zeta_c}}$$

7. Визначають діаметр трубопроводу $d_{мп}$ за формулою:

$$d_{мп} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_p}{\tau_{спор.м.} \cdot \varphi_{сист} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}}$$

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. Внутрішній діаметр труб приймають не менше 100 мм.

Визначають площу перерізу отвору труб системи аварійного зливу і вихідного патрубку апарата за формулою:

$$f_{тр} = f_{вих} = 0,785 \cdot d_{вн}^2,$$

де: $d_{вн}$ – внутрішній діаметр трубопроводу, [м].

9. Визначають середню швидкість руху рідини по аварійному трубопроводу при зливі за формулою:

$$\omega = 2,22 \cdot \varphi_{сист} \cdot \left(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2} \right).$$

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 за формулою:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{вн} \cdot \rho_t}{\mu_t}.$$

12. В залежності від величини числа Re визначають коефіцієнти опору тертя лінійних ділянок трубопроводу λ за формулами:

$$\text{при } Re \leq 2300 \quad \lambda = \frac{64}{Re};$$

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

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

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 рідини 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 за формулою:

$$\zeta_{сист} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{вн}} \cdot \sum_{i=1}^n l_i,$$

де: l_i – довжина i -ї лінійної ділянки трубопроводу, [м]; n – число лінійних ділянок.

14. Обчислюють уточнене значення коефіцієнта витрат системи за формулою:

$$\varphi_{сист}^* = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{сист}}}.$$

15. Розраховують похибку при оцінці коефіцієнта витрат системи за формулою:

$$\delta\varphi = \frac{|\varphi_{сист}^* - \varphi_{сист}|}{\varphi_{сист}} \cdot 100\%.$$

Якщо помилка не перевищує 5%, вважають значення $\varphi_{сист}^*$ істинним і продовжують розрахунки (переходять до 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) тривалість спорожнення апарата обчислюють за формулою:

$$\tau_{спор} = \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\varphi_{сист} \cdot f_{вих}},$$

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 вжити таких заходів (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 розраховують приведені величини H_{np1} і H_{np2} таким чином:

$$H_{np1} = H_1 + \frac{P_n}{\rho_t \cdot g} \quad \text{і} \quad H_{np2} = H_2 + \frac{P_k}{\rho_t \cdot g},$$

де: P_n і P_k – надлишковий тиск інертного газу відповідно на початку і наприкінці спорожнення апарата, [Па]; тиск інертного газу не повинен перевищувати допустимий за умовами міцності тиску в апараті і трубопроводі; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення сили тяжіння; ρ_t – густина рідини при робочій температурі, [кг/м³].

18. Визначають об'єм аварійного апарата за формулою:

$$V_a = V_p / \varepsilon,$$

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];
- привід системи аварійного зливу (ручний або автоматичний);
- діаметр аварійного трубопроводу $d_{ен}$, [мм];
- час спорожнення апарата $\tau_{вин}$, [с];
- об'єм аварійного апарата V_a , [м³].

6.5. Методика розрахунку запобіжного клапана

Запобіжні клапани – це пристрої, що спрацьовують 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:

$$\rho_t = 120,27 \cdot \frac{M \cdot P_{спр}}{t_p + 273},$$

де: ρ_t – густина парогазового середовища в апараті, [кг/м³]; t_p – робоча температура середовища в апараті, [°C]; $P_{спр}$ – 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 патрубку запобіжного клапана). Приймають:

$$P_{вх} = P_c,$$

де: P_c – абсолютний тиск середовища в закритій системі, куди скидається парогазове середовище, [МПа].

5. Визначають співвідношення:

$$P_{вх.н} / P_{спр.н.},$$

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.):

$$B = f(P_{вх.н} / P_{спр.н.}; k).$$

7. Визначають необхідну площу прохідного перерізу запобіжного клапана при максимальній продуктивності апарата за парогазовим 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, $[m^2]$; G_{\max} – максимальна продуктивність апарата за парогазовим середовищем, $[кг/с]$; φ – коефіцієнт витрати середовища через клапан (величина φ наводиться 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 відповідного патрубку, 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 i -го коефіцієнта; n – число видів опорів.

15. Визначають коефіцієнт опору тертя лінійних частин трубопроводу:

$$\lambda = 0,0132 \cdot d_{\text{від}}^{-0,25}.$$

16. Визначають коефіцієнт опору системи:

$$\zeta_{\text{сист}} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{\text{від}}} \cdot \sum_{i=1}^n l_i,$$

де: l_i – довжина i -ої лінійної ділянки відвідного трубопроводу, [м]; n – число лінійних ділянок.

17. Визначають параметр:

$$L = \frac{2 \cdot k}{k + 1} \cdot \zeta_{\text{сист}}.$$

18. Знаходять значення швидкісного коефіцієнта на вході парогазового середовища у відвідний трубопровід:

$$\lambda_{\text{вх}} = f(L; \lambda_{\text{вих}}).$$

19. Визначають швидкість пароповітряного середовища на виході з запобіжного клапана:

$$\omega_{\text{вх}} = \lambda_{\text{вх}} \cdot \omega_{\text{кр}}.$$

20. Визначають падіння тиску у відвідному трубопроводі:

$$\Delta P = P_{\text{вх}} \cdot \left(\frac{G_{\text{max}}}{\rho_{\text{від}} \cdot F_{\text{від}} \cdot \omega_{\text{вх}}} - 1 \right).$$

21. Визначають уточнене значення тиску на виході у відвідний трубопровід:

$$P_{\text{вх}}^* = P_{\text{вх}} + \Delta P.$$

22. Порівнюють уточнене значення тиску на вході у відвідний трубопровід $P_{\text{вх}}^*$ з прийнятим раніше значенням $P_{\text{вх}}$. Якщо $P_{\text{вх}}^*$ значно відрізняється від прийнятого раніше $P_{\text{вх}}$ ($P_{\text{вх}}^* > 1,05 P_{\text{вх}}$ або $P_{\text{вх}}^* < 0,95 P_{\text{вх}}$), то пропускну здатність клапана слід перерахувати, прийнявши $P_{\text{вх}} = P_{\text{вх}}^*$ (розрахунки повторюють, починаючи з п.4). Якщо $P_{\text{вх}}^*$ не значно відрізняється від прийнятого раніше значення $P_{\text{вх}}$ ($0,95 P_{\text{вх}} \leq P_{\text{вх}}^* \leq 1,05 P_{\text{вх}}$), то величину $P_{\text{вх}}$ вважають істинною.

23. Уточнюють значення коефіцієнта B^* :

$$B^* = f(P_{\text{вх}}^* / P_{\text{спр}}; k).$$

24. Перевіряють пропускну здатність запобіжного клапана G_k :

$$G_k = 1400 \cdot \varphi \cdot F \cdot B^* \cdot \sqrt{(P_{\text{спр}} - P_{\text{вх}}^*) \cdot \rho_t}.$$

25. Порівнюють знайдене значення пропускну здатності клапана G_k з максимальною продуктивністю апарата за парогазовим середовищем при аварійній ситуації G_{max} .

При $G_k \geq G_{\text{max}}$ розрахунки завершують. При $G_k < G_{\text{max}}$ необхідно:

- вставити запобіжний клапан з більшим діаметром сопла та, відповідно, з більшим діаметром відвідного патрубку $d_{\text{від}}$ 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 , °С;
- тиск (абсолютний) спрацювання клапана, $P_{сп}$, МПа;
- тиск (абсолютний) в закритій системі, P_c , МПа;
- тип запобіжного клапана;
- пропускна 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.

6.6. 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 газопарового середовища.

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.

Якщо концентрація горючої речовини у вихідній суміші менша за 5% об., то приймають $M=28,96$ кг/кмоль (молекулярна маса повітря).

3. За довідковими даними знаходять нормальну швидкість поширення полум'я U_n м/с, показник адіабати k повітря (табл.5 додатків).

3. 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, [м³]; $P_{\text{бар}} = 0,1$ 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:

$$\mu = P_{\text{max}} / P_{\text{бар}}$$

де: $P_{\text{бар}} = 0,1$ МПа.

7. Визначають максимальну витрату газу через скидний отвір при вибуху середовища в апараті за формулою:

$$G = F_{nl} \cdot U_n \cdot \frac{\mu - 1}{k} \cdot \left(\frac{P}{P_p} \right)^{\frac{2-k}{k}}.$$

8. Визначають відносний перепад тиску на скидному отворі і режим витікання газів при вибуху середовища в апараті через нього після руйнування мембрани за формулою:

$$v = P_o / P,$$

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.

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] за формулами:

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:

$$F_k = \frac{F_{nl} \cdot U_n \cdot (\mu - 1)}{\varphi \cdot k \cdot \left(\frac{P}{P_p}\right)^{\frac{3(k-1)}{2k}} \sqrt{\frac{k \cdot R \cdot (t_p + 273)}{M} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k}}}};$$

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 за формулою:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_k}{\pi \cdot n}},$$

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_b , [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 за формулою:

$$\Delta = \frac{P \cdot d_y}{8 \cdot \delta_e \cdot K_t} \cdot \sqrt{\frac{1 + \delta}{\sqrt{1 + \delta} - 1}},$$

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 (у роках) за формулою:

$$\tau = \frac{\left(1 - \frac{P_p}{P}\right)^2}{2\left(\frac{c}{\Delta_\phi} + \lambda\right)} \cdot \left(1 - 0,85 \cdot \frac{t_p - 20}{t_m - 20}\right),$$

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 $\varphi_{ок}$ [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.

6.7. Приклади розв'язання задач

Задача 6.1. Визначити розрахунком коефіцієнт теплопровідності і теплоємності пропано-повітряної суміші стехіометричного складу при 20 °C.

Розв'язок

Складаємо реакцію горіння пропану у повітрі:



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:

$$\lambda_r = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

З табл. 10 додатків беремо коефіцієнт теплопровідності повітря:

$$\lambda_n = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

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:

$C_{pr} = 1667$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність пропану;

$C_{pn} = 1005$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність повітря.

За формулою (6.3) визначаємо коефіцієнт теплоємності газоповітряної суміші:

$$C_{p,c} = \varphi_2 \cdot C_{p,2} + (1 - \varphi_2) \cdot C_{p,n} = \\ = 0,0397 \cdot 1,667 + (1 - 0,0397) \cdot 1,005 = 1,031 \text{ кДж / (кг} \cdot \text{К)}$$

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 $P_p = 0,3$ МПа.

Розв'язок

Складаємо реакцію горіння пропілену в повітрі:



Визначаємо концентрацію пропілену у вихідній суміші стехіометричного складу:

$$\varphi_2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_i} = \frac{1}{1 + 4,5(1 + 3,76)} = 0,045 \text{ об.частки} .$$

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:

$$\lambda_c = \varphi_2 \cdot \lambda_2 + (1 - \varphi_2) \cdot \lambda_n = \\ = 0,045 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} + (1 - 0,045) \cdot 2,44 \cdot 10^{-2} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$$

З табл. 10 додатків знаходимо відповідно коефіцієнти питомої теплоємності пропілену та повітря:

$C_{pr} = 1520$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність пропілену;

$C_{pn} = 1004$ Дж/(кг·К) – питома теплоємність повітря.

За формулою (6.3) визначаємо коефіцієнт теплоємності газоповітряної суміші:

$$C_{p,c} = \varphi_z \cdot C_{p,z} + (1 - \varphi_z) \cdot C_{p,n} = \\ = 0,045 \cdot 1520 + (1 - 0,045) \cdot 1004 = 1027 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Розраховуємо питому газову сталу горючої пропіленоповітряної суміші:

$$R = \frac{8314,31}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i} = \frac{8314,31}{\varphi_z \cdot M_z + (1 - \varphi_z) \cdot M_n} = \\ = \frac{8314,31}{0,045 \cdot 42,08 + (1 - 0,045) \cdot 28,96} = 281,4 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

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 $\delta_{кр} = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$.

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 $H=120 \text{ мм}$, $\delta_{кр}=4,3 \text{ мм}$.

Розв'язок

Діаметр гранул гравійного вогнеперешкоджувача визначаємо за формулою (5.13), а фактичний діаметр каналів в насадці за формулою (5.12).

При $\delta_{кр}=4,3 \text{ мм}=4,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ і $K_H=2$ $d=4,3 \cdot 10^{-3}/2=2,15 \cdot 10^{-3}$ і $d_{гр}=3,5 \cdot 2,15 \cdot 10^{-3}=7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Визначаємо значення критерію Рейнольдса за формулою (5.17), у якій $\omega_{ф}=2 \text{ м/с}$, а густину за формулою:

$$\rho_t = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \rho_{i,t} = 0,045 \cdot 1,638 + 0,955 \cdot 1,127 = 1,15 \text{ кг}/\text{м}^3,$$

$$\text{де } \rho_z = \frac{42,08}{22,41} = 1,878 \text{ кг}/\text{м}^3; \quad \rho_{z,t} = 1,878 \cdot \frac{273}{313} = 1,638 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$\rho_n = \frac{28,96}{22,41} = 1,292 \text{ кг}/\text{м}^3; \quad \rho_{n,t} = 1,292 \cdot \frac{273}{313} = 1,127 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$\varphi_z = 0,045 \text{ кг}/\text{м}^3; \quad \varphi_n = 1 - \varphi_z = 1 - 0,045 = 0,955;$$

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

$$\mu_{z,t} = \mu_o \cdot \frac{t_o + C}{t_p + C} \sqrt{\left(\frac{t_p + 273}{t_o + 273}\right)^3} = 0,835 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{293 + 322}{313 + 322} \cdot \sqrt{\left(\frac{313}{293}\right)^3} = 0,893 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

де $T_p=273+40=313$ К – за умовою; $\mu_{z,t}=1,73 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $C_{II}=124$ К;
 $\mu_{z,t}=0,893 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $C_r=322$ К (див. табл. 10 додатків).

Визначаємо в'язкість газової суміші за формулою (5.19 а):

$$\mu = \frac{\varphi_r M_r + (1 - \varphi_r) \cdot M_n}{\varphi_r \cdot M_r \cdot \mu_n + (1 - \varphi_r) \cdot M_n \cdot \mu_r} \cdot \mu_r \cdot \mu_n =$$

$$= \frac{0,045 \cdot 42,08 + (1 - 0,045) \cdot 28,96}{0,045 \cdot 42,08 \cdot 1,929 \cdot 10^{-5} + (1 - 0,045) \cdot 28,96 \cdot 0,893 \cdot 10^{-5}} \cdot 1,929 \cdot 10^{-5} \cdot 0,893 \cdot 10^{-5} =$$

$$= 1,796 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

З табл.19 додатків беремо величину S, яка дорівнює $S=1150 \text{ м}^{-1}$.

Критерій Рейнольдса визначаємо за формулою:

$$Re = \frac{4 \cdot \omega_\phi \cdot \rho_t}{\mu \cdot S} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,15}{1,796 \cdot 10^{-5} \cdot 1150} = 445,5$$

Величину λ знаходимо з виразу (5.20 б):

$$\lambda = 1,56 / Re^{0,15} = 1,56 / 445,5^{0,15} = 0,625$$

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 $\omega_\phi^{**} = 0,5 \text{ м/с}$:

$$Re = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 1,15}{1,796 \cdot 10^{-5} \cdot 1150} = 111,4.$$

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 згорання пропано-повітряної суміші стехіометричного складу:



Об'єм газоподібних продуктів вибуху визначається за формулою (5.34), згідно з якою:

$$P_p = 1,03 \cdot 10^5 \text{ Па}; P_c = P_{\text{бар}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}; T_{p,r} = T_{c,r} = 273 + 25 = 298 \text{ К}; \text{ (за умовою);}$$

$$\sum n_i = 1 + 5 \cdot 4,76 = 24,8 \text{ моля};$$

$$\sum m_i = 3 + 4 + 5 \cdot 4,76 = 25,8 \text{ моля};$$

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 згорання початкової суміші при $T_p = 298 \text{ К}$ (за умовою):

$$Q_{298}^{\text{згор.}} = \varphi_c \cdot Q_c + \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot C_i \cdot T_p,$$

$$\text{де: } Q_c = 2223,2 \cdot 10^3 \text{ кДж/(кмоль)}; \quad C_{C_3H_8} = 73,56 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)};$$

$$C_{O_2} = 29,38 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}; \quad C_{N_2} = 29,14 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)};$$

$$Q_{298}^{\text{згор.}} = 0,04 \cdot 2223,2 \cdot 10^3 + 0,04 \cdot 73,56 \cdot 298 +$$

$$+ 0,2 \cdot 29,38 \cdot 298 + 0,76 \cdot 29,14 \cdot 298 = 98155,51 \text{ кДж/кмоль}$$

Приймаємо попередню температуру вибуху $T_{\text{вибуху}} = 2400 \text{ К}$. Визначаємо склад продуктів згорання:

$$\varphi_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{\sum m_i} = \frac{3}{25,8} = 0,116;$$

$$\varphi_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{\sum m_i} = \frac{4}{25,8} = 0,155;$$

$$\varphi_{N_2} = 1 - (0,116 + 0,155) = 0,729.$$

Обчислюємо внутрішню енергію продуктів згоряння за формулою:

$$Q_{пр.з.} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot C_{i,t} \cdot T_{вибуху},$$

$$\text{де: } C_{CO_2} = 60,79 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot K); C_{H_2O} = 52,18 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot K);$$

$$C_{N_2} = 36,56 \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot K); Q_{пр.з.} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot C_{i,t} \cdot T_{вибуху} = (0,166 \cdot 60,79 + 0,155 \cdot 52,18 + 0,729 \cdot 36,56) \cdot 2400 = 100300,27 \text{ кДж} / \text{кмоль}.$$

Приймаємо $T_{вибуху} = 2400 \text{ К}$

$$\text{Обчислюємо: } V_{t,2} = \frac{1,03 \cdot 10^5}{1,0 \cdot 10^5} \cdot \frac{2400}{298} \cdot \frac{25,8}{24,8} = 8,63 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

Тиск спрацювання (руйнування) покрівлі резервуара при $P_p = P_{бар}$ і $V_v \geq 30 \text{ м}^3$ 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):

$$\tau = \frac{0,31}{U_H \cdot V_{t,2}} \cdot \sqrt[3]{V_v} = \frac{0,31}{0,455 \cdot 8,63} \cdot \sqrt[3]{5000} = 1,35 \text{ с},$$

де: $U_H = 0,455 \text{ м/с}$ (табл. 1 додатків), $V_v = 5000 \text{ м}^3$ (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 з якою ($\mu = 0,7$ – приймається):

$$R = \frac{8314,31}{M} = \frac{8314,31}{28,32} = 293,58 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot K).$$

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.

$$\omega_{\text{докр.}} = \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K}{K-1} \cdot R \cdot T_{\text{бар}} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_{\text{руйн}}} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]} =$$

$$= 0,7 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,2}{1,2-1} \cdot 293,58 \cdot 2400 \cdot \left[1 - \left(\frac{1 \cdot 10^5}{1,05 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} \right]} = 183,1 \text{ м/с}$$

За формулою (5.32):

$$f = \frac{\Delta V_i}{\tau \cdot \omega} = \frac{7,61}{1,35 \cdot 183,1} = 0,0308 \text{ м}^2 / \text{м}^3$$

Визначаємо за формулою (5.36) загальну площу скидної покрівлі резервуара:

$$F = f \cdot V_g = 0,0308 \cdot 5000 = 154 \text{ м}^2,$$

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 згоряння, 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, який 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 – $\varphi_{\text{сист.}}=0,25$; 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):

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,226 \cdot V_p}{\varphi_{\text{сист.}} \cdot f_{\text{мп}} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{\rho_t \cdot g} \pm H}},$$

або:

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,226 \cdot 1200}{0,25 \cdot 0,01133 \cdot \sqrt{\frac{11 \cdot 10^5}{850 \cdot 9,81} - 8}} = 8623,9 \text{ с} = 2,4 \text{ год},$$

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);

$$f_{\text{мп}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{мп}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,12^2}{4} = 1,13 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

Відповідь. Тривалість аварійного перекачування нафти і нафтопродуктів в безпечне місце (резервуарний парк) становить 2,4 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 ($\zeta_{вх}=0,5$), трійник для бокового потоку ($\zeta_{тр.б.}=1,2$), гідрозатвор ($\zeta_r=1,3$), чотири повороти з кутом повороту 90° при $R \approx 5 \cdot d_{тр}$ ($\zeta_n=0,5$). 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:

$$\begin{aligned} \zeta_c &= \sum_{i=1}^n N_i \cdot \zeta_i = \zeta_{вх} + \zeta_{тр.б.} + \zeta_r + n \cdot \zeta_n + \zeta_{вих} = \\ &= 0,5 + 1,2 + 1,3 + 4 \cdot 0,5 + 0,5 = 5,5. \end{aligned}$$

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):

$$\varphi_{сист} = \sqrt{\frac{1}{1+3 \cdot \zeta_c}} = \sqrt{\frac{1}{1+3 \cdot 5,5}} = 0,239.$$

Визначаємо діаметр аварійного самопливного трубопроводу за формулою (5.28):

$$\begin{aligned} d_{тр} &= 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_p}{\tau_{спор.м.} \cdot \varphi_{сист} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}} = \\ &= 0,758 \cdot \sqrt{\frac{3}{300 \cdot 0,239 \cdot (\sqrt{7} + \sqrt{5})}} = 0,010 \text{ м} = 10 \text{ мм} \end{aligned}$$

Відповідь. Приймається діаметр аварійного самопливного трубопроводу 100 мм.

Задача 6.7. Обґрунтувати розрахунком виконання умови аварійного зливу горючої рідини з апарата. Апарат має квадратний переріз; розміри сторін в плані: $a=1,5 \text{ м}$; $\tau_{оп}=1 \text{ хв}$, $[\tau]=15 \text{ хв}$. Відстань по вертикалі від рівня рідини до аварійного апарата $H_1=6,5 \text{ м}$; $H_2=4,0 \text{ м}$; $P_n=0,2 \text{ МПа}$; $\varphi_{сист}=0,22$; $d_{вих.}=100 \text{ мм}$. Горюча рідина – ацетон. Температура рідини 20°C .

Розв'язок

Визначаємо площу перерізу отвору вихідного патрубку системи аварійного зливу:

$$f_{вих} = \frac{\pi d_{вих}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,00785 \text{ м}^2$$

де: $d_{вих}=100$ мм – за умовою.

Визначаємо величину H_1 :

$$H_{1пр} = \frac{P_n}{\rho_t \cdot g} + H_1 = \frac{2 \cdot 10^5}{790,5 \cdot 9,81} + 6,5 = 32,29 \text{ м},$$

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 апарата за формулою (5.23):

$$\begin{aligned} \tau_{спор} &= \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\varphi_{сист} \cdot f_{вих}} = \\ &= \frac{0,452 \cdot 2,25 \cdot (\sqrt{32,29} - \sqrt{29,89})}{0,22 \cdot 0,00785} = 126,8 \text{ с}, \end{aligned}$$

де: F – площа поперечного перерізу апарата, [м²]; $F = a^2 = 1,5^2 = 2,25 \text{ м}^2$; $\varphi_{сист}=0,22$.

Визначаємо тривалість аварійного зливу за формулою (5.23):

$$\tau_{зл} = \tau_{спор} + \tau_{опер} < [\tau]_{зл}$$

$$\tau_{зл} = 126,8 + 60 = 186,8 \text{ с (де } \tau_{опер}=60 \text{ с – за умовою)}.$$

При $[\tau]_{зл}=900$ с умова аварійного зливу ацетону з апарата виконується, оскільки $\tau_{зл} < [\tau]_{зл}$ ($186,8 \text{ с} < 900 \text{ с}$).

Відповідь. Умова аварійного зливу ацетону з апарата виконується, оскільки $\tau_{зл} < [\tau]_{зл}$ ($186,8 \text{ с} < 900 \text{ с}$).

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 $4 \cdot 10^3$ Па. Обґрунтувати розрахунком виконання умови аварійного випуску горючих парів з апарата.

Початкові дані для розрахунку: робоча температура – 100 °С, об'єм апарата – 120 м³, робочий тиск – 0,2 МПа, коефіцієнт опору лінії – $\varphi_{сист}=0,5$; тривалість операцій для приведення системи в 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:

$$P_{кр} = P_p \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 2,0 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{2}{1,1+1} \right)^{\frac{1,1}{1,1-1}} = 1,17 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

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 $\tau_{оп} = 60 \text{ с}$ (за умовою); $[\tau]_{вин} = 300 \text{ с}$ (прийнято).

Величини $\tau_{вин}^{кр}$, $\tau_{вин}^{докр}$ визначаємо за формулами (5.31) і (5.31а), згідно з якими :

$$\begin{aligned} \tau_{вин}^{кр} &= \frac{V_v \cdot (P_p - P_{кр})}{P_{бар} \cdot \varphi_{сист} \cdot f_{тр} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1}} \cdot R \cdot T_p} = \\ &= \frac{120 \cdot (2 \cdot 10^5 - 1,17 \cdot 10^5)}{1 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot 0,0177 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,1}{1,1+1}} \cdot 106,44 \cdot 373} = 55,2 \text{ с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{вин}^{докр} &= \frac{V_v \cdot (P_{кр} - P_c)}{P_{бар} \cdot \varphi_{сист} \cdot f_{тр} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k+1}} \cdot R \cdot T_p \cdot \left[1 - \left(\frac{P_c}{P_{кр}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} = \\ &= \frac{120 \cdot (2 \cdot 10^5 - 1,17 \cdot 10^5)}{1 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot 0,0177 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,1}{1,1+1}} \cdot 106,44 \cdot 373 \cdot \left[1 - \left(\frac{1,04 \cdot 10^5}{1,17 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,1-1}{1,1}} \right]} = \\ &= 18,3 \text{ с}; \end{aligned}$$

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);

$$f_{тр} = \frac{\pi \cdot d_{тр}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} = 1,77 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2;$$

$$R = \frac{8314,31}{M} = \frac{8314,31}{78,11} = 106,44 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

$M = 78,11$ – за табл. 1 додатків.

Умову аварійного викиду парів бензолу з апарата перевіряємо з нерівності:

$$\tau_{вин} = \tau_{вин}^{кр} + \tau_{вин}^{докр} + \tau_{оп} \leq [\tau]_{вин};$$

В даному випадку:

$$\tau_{\text{вип}} = 55,2 + 18,3 + 60 = 133,5 \text{ с} < [\tau]_{\text{вип}} = 300 \text{ с},$$

тобто умова аварійного викиду парів бензолу з апарата дотримана.

Відповідь. Таким чином, умова аварійного викиду парів бензолу з апарата дотримана.

6.8. 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 трапилася 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 $25\text{ }^\circ\text{C}$.

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%) |
| $V_{\text{ап}}, \text{M}^3$ | 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 |
| $q, \text{M}^3/\text{хв}$ | 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 | |
| $h, \text{м}$ | 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 ($1 \cdot 10^5 \text{ Па}$).

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, $^\circ\text{C}$ | 10 | 30 | 35 | 20 | 10 | 15 | 25 | 35 | 20 | 15 |
| Витрата, $\text{M}^3/\text{год}$ | 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 | 20000 | 10000 | 3000 | 200 | 2000 | 100 | 1000 | 300 | 400 | 5000 |
| Температура горючої суміші, °С | 25 | 30 | 40 | 50 | 30 | 50 | 30 | 60 | 35 | 40 |
| Діаметр апарата, м | 39,9 | 28,5 | 19,02 | 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 надійність 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 мембрани | Алюміній м'який | | Мідь м'яка | | Нержавіюча сталь м'яка | | Нікель м'який | | Нікель напівтвердий | |
| Швидкість корозії, мм/рік | 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 оворів, 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 |

Примітка. 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 x b) наведені в таблиці 6.11.

Підвідний паропровід виконано з труб діаметром $d_{\text{вн}}$, 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 |
|------------------------|------|------|------|-------|-------|
| a x 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 небезпеч- них 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 $\phi_{\text{сист}}=0,5$; тривалість операцій для приведення системи дію не перевищує 60 с.

Таблиця 6.13

| № варіанта | 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 | 500 | 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 | 200 | 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 наведені 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 $R \approx 5 \cdot d_{\text{тр}}$. 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 | 8 | 9 | 7 | 10 | 9 | 14 | 12 | 7 | 8 |
| H_2 , м | 2 | 5 | 6 | 4 | 6 | 3 | 6 | 7 | 1 | 3 |

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

| № варіанта | 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 $\varepsilon=0,8$ | | $D=2$ м $h_1=3$ м $h_2=1$ м $\varepsilon=0,9$ | | $D=3$ м $L=6$ м $R=1,5$ м $\varepsilon=1,0$ | | $D=3$ м $h_1=1,5$ м $h_2=3$ м $\varepsilon=1,0$ | | $h=3$ м $R=1,5$ м $\varepsilon=1,0$ | |
| $\tau_{\text{опер}}$, хв | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,5 |
| $[\tau]_{\text{зл}}$, 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) |
| $d_{\text{вих}}$, мм | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 90 | 80 | 70 | 60 |
| $\varphi_{\text{сист}}$ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,15 | 0,25 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,15 | 0,25 |

7. Захист технологічних апаратів від розтікання легкозаймистих, горючих рідин та скраплених газів.

7.1. 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 розливої рідини на 0,2 м, тобто:

$$h_{обв.} = \frac{V_{max}}{a \cdot b - \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}} + 0,2, \quad (7.1)$$

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 внутрішніх схилів обвалування (у нижній частині) 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 скрапленням газом визначається згідно з п. 11.50 ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”: «Для кожної групи надземних резервуарів за периметром повинно передбачатися замкнуте обвалування чи огорожувальна стінка з негорючих матеріалів (цегли, бутобетону, бетону) заввишки не менше 1 м, розраховані 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, приймаються рівними 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 виходячи з того, що об'єм, утворений обвалуванням чи негорючою стіною, повинен бути розрахований на вміст продукту найбільшого електродегідратора і бути не меншою ніж 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 меншою від 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 меншою від діаметра найбільшого сусіднього електродегідратора.

Відстань між групами електродегідраторів повинна бути не меншою від двох діаметрів, але не меншою ніж 10 м. Відстань між групами електродегідраторів до будівель установки повинна бути не меншою ніж 15 м, рахуючи від стінки найближчого електродегідратора.

Відстань від стінок електродегідратора до внутрішньої підшови обвалування чи основи обгороджувальної стіни повинна дорівнювати половині діаметра найближчого електродегідратора, але не менша ніж 1 м.

7.2. Методика розрахунку висоти обвалування навколо резервуарного парку складів нафти та нафтопродуктів

1) Визначається загальна місткість резервуарів за формулою:

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{рез.}} \cdot n,$$

де: $V_{\text{рез.}}$ – об’єм резервуара, [м³]; n – кількість резервуарів.

2) Визначається допустима загальна номінальна місткість групи $V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}$ 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:

$$N = \frac{V_{\text{заг.}}}{V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}},$$

де: $V_{\text{заг.}}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}$ – 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 огороджувальної 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 вищою від 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».

7.3. 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 резервуара, [м³]; n – кількість резервуарів.

3) Визначається максимальна допустима місткість групи $V_{дон.}^{зр.}$ за табл. 15

ДБН В 2.5-20–2018 „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:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{гр.}},$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{доп.}^{гр.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³].

4) Зображається план розташування груп резервуарів.

5) Визначається висота обвалування для окремої групи, згідно з п. 11.50 ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”: «Для кожної групи надземних резервуарів за периметром повинно передбачатися замкнуте обвалування чи огорожувальна стінка з негорючих матеріалів (цегли, бутобетону, бетону) заввишки не менше 1 м, розраховані 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.11.49. ДБН В 2.5-20–2018 „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 ніж 2 м».

- відстань між рядами надземних резервуарів, що розташовуються в два і більше рядів, приймається рівною довжині найбільшого резервуара, але повинна бути не меншою ніж 10 м (п.11.49. ДБН В 2.5-20–2018).

- відстані від резервуарів до підшви обвалування чи огорожувальної стінки повинні дорівнювати половині діаметра найближчого резервуара, але не менші ніж 1 м (п.11.50. ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”).

б) Розрахована висота обвалування, згідно з п. 11.50 ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”, повинна бути не меншою ніж 1 м.

7) Визначається відстань між групами резервуарів, згідно з ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”, залежно від загальної місткості резервуарів в групі (табл.34 додатків).

7.4. Методика розрахунку висоти обвалування навколо груп електродегідраторів

1) Визначається загальна місткість електродегідраторів за формулою:

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{ел.}} \cdot n ,$$

де: $V_{\text{ел.}}$ – об'єм електродегідратора, [м³]; n – кількість електродегідраторів.

2) Визначається допустима загальна номінальна місткість групи $V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}$, яка повинна становити не більше 2400 м³ в групі.

3) Визначається кількість груп електродегідраторів за формулою:

$$N = \frac{V_{\text{заг.}}}{V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}} ,$$

де: $V_{\text{заг.}}$ – загальна місткість електродегідраторів, [м³]; $V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}$ – максимально допустима місткість групи електродегідраторів, [м³].

4) Зображається план розташування груп електродегідраторів.

5) Визначається висота обвалування для окремої групи за формулою:

$$h_{\text{обв.}} = \frac{V_{\text{max}}}{a \cdot b} ,$$

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 меншою ніж 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, яка повинна дорівнювати половині діаметра найближчого електродегідратора, але бути не меншою ніж 1 м;
- відстань між окремими електродегідраторами в групі, яка повинна бути не меншою від діаметра найбільшого сусіднього електродегідратора.

6) Розрахована висота обвалування повинна бути не менша ніж 1 м.

7) Визначається відстань між групами електродегідраторів, яка повинна бути не менша ніж два діаметри, але не менша ніж 10 м.

7.5. Приклади розв'язання задач

Задача 7.1. Склад підприємства містить чотири резервуари зі стаціонарною покрівлею ємністю 5000 м^3 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:

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{рез.}} \cdot n = 5000 \cdot 4 = 20000 \text{ м}^3,$$

де: $V_{\text{рез.}}$ – об'єм резервуара, $[\text{м}^3]$; n – кількість резервуарів.

2) Визначаємо допустиму загальну номінальну місткість групи $V_{\text{дон.}}^{\text{сп.}}$ за табл. 24 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»:

$$V_{\text{дон.}}^{\text{сп.}} = 120000 \text{ м}^3.$$

4) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{\text{заг.}}}{V_{\text{дон.}}^{\text{сп.}}} = \frac{20000}{120000} = 0,17 \approx 1 \text{ група},$$

де: $V_{\text{заг.}}$ – загальна місткість резервуарів, $[\text{м}^3]$; $V_{\text{дон.}}^{\text{сп.}}$ – максимально допустима місткість групи, $[\text{м}^3]$.

4) Зобразимо план розташування резервуарів (рис.1).

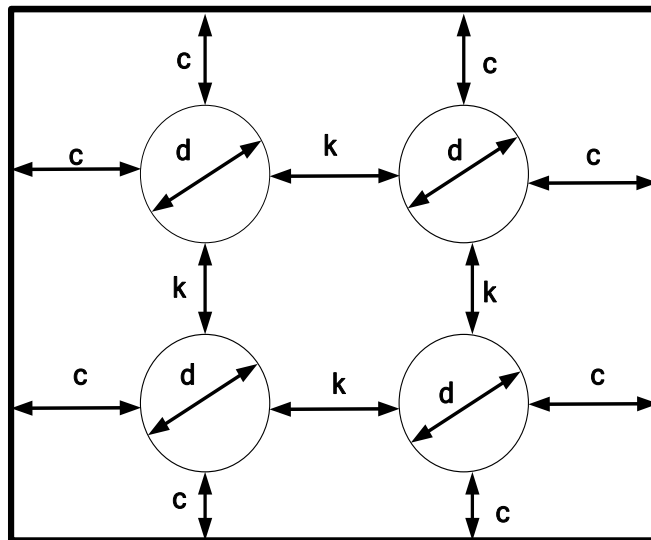


Рис.1. План розташування резервуарів типу РВС

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 $V_{доп.}^{зр.}$ за табл. 24 ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»:

$$V_{доп.}^{зр.} = 200000 \text{ м}^3.$$

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{зр.}} = \frac{300000}{200000} = 1,5 \approx 2 \text{ групи},$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{доп.}^{зр.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³].

4) Зобразимо план розташування груп резервуарів (рис.2).

Розташовуємо резервуари у дві групи по три штуки.

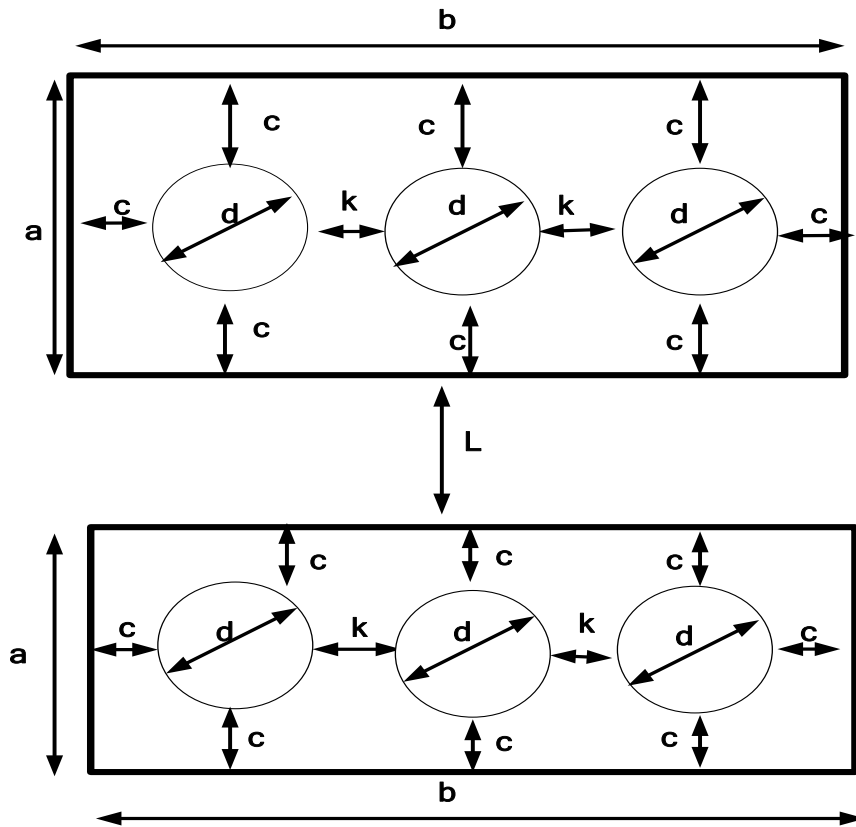


Рис.2. План розташування резервуарів типу РВСП

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, $[m^3]$; a, b – довжина та ширина резервуарного парку, $[m]$; d – діаметр резервуара, $[m]$; 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 ($h_{\text{обв.}}^{\min} = 1 \text{ м}$, $h_{\text{обв.}}^{\max} = 3,9 \text{ м}$), 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 $h_{\text{обв.}} = 2,7 \text{ м}$.

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 кулястих резервуари із скрапленим газом об'ємом 900 м^3 і діаметром 12 м кожний.

Розв'язок

1) Визначимо загальну місткість резервуарів за формулою:

$$V_{\text{заг.}} = V_{\text{рез.}} \cdot n = 900 \cdot 4 = 3600 \text{ м}^3,$$

де: $V_{\text{рез.}}$ – об'єм резервуара, $[m^3]$; n – кількість резервуарів.

3) Визначаємо максимальну допустиму місткість групи $V_{доп.}^{зр.}$ згідно ДБН В.2.5-20-2018 „Газопостачання” (табл. 33 додатків).

Оскільки загальна місткість резервуарів більша за 2000 м^3 , то допустима місткість групи $V_{доп.}^{зр.} = 2000 \text{ м}^3$.

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{зр.}} = \frac{3600}{2000} = 1,8 \approx 2 \text{ групи}$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, $[\text{м}^3]$; $V_{доп.}^{зр.}$ – максимально допустима місткість групи, $[\text{м}^3]$;

4) Зобразимо план розташування груп резервуарів (рис. 3) :

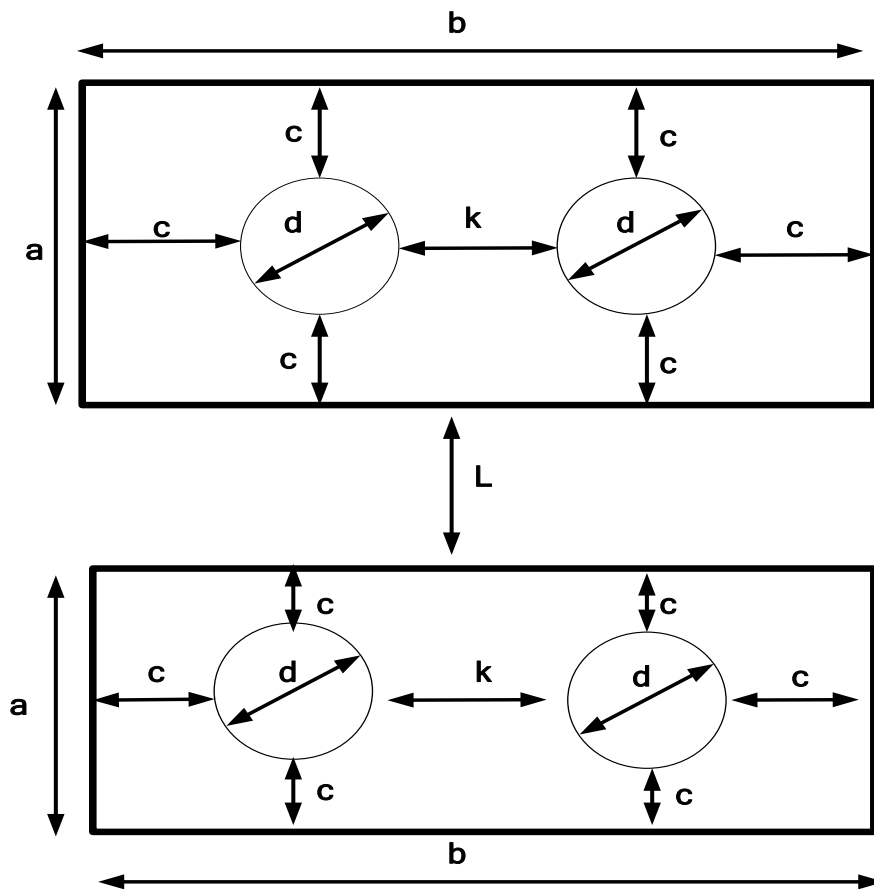


Рис.3. План розташування кулястих резервуарів для скрапленого газу

5) Визначимо висоту обвалування для окремої групи згідно з п. 11.50 ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”: «Для кожної групи наземних резервуарів за периметром повинно передбачатися замкнуте обвалування чи огорожувальна стінка з негорючих матеріалів (цегли, бутобетону, бетону) заввишки не менше 1 м, розраховані 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, $[м^3]$; 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.11.49. ДБН В 2.5-20–2018 „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 підосви обвалування чи обгороджувальної стінки повинні дорівнювати половині діаметра найближчого резервуара, але не менше 1 м (п.11.50. ДБН В 2.5-20–2018 „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:

$$h_{обв.} = \frac{0,85 \cdot V_{гр.факт.}}{a \cdot b} = \frac{0,85 \cdot 1800}{24 \cdot 48} = 1,33 \text{ м}$$

б) Визначаємо відстань між групами резервуарів, згідно з ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання” (табл. 34 додатків).

Оскільки, загальна місткість резервуарів в групі 1800 м^3 , то відстань між групами резервуарів, згідно з табл. 17. ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”:

$$L = 20 \text{ м}.$$

Відповідь. Висота обвалування $h_{обв.} = 1,33 \text{ м}$.

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 розташовані циліндричні горизонтальні резервуари із скрапленим газом. Загальна місткість резервуарів $V_{заг.} = 1600 \text{ м}^3$, об'єм резервуара $V_{р.} = 200 \text{ м}^3$, 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 $V_{доп.}^{zp.}$ згідно з ДБН В.2.5-20-2018 „Газопостачання” (табл. 33 додатків).

Оскільки, загальна місткість резервуарів не перевищує 2000 м³, то допустима місткість групи $V_{доп.}^{zp.} = 1000 \text{ м}^3$.

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{заг.}}{V_{доп.}^{zp.}} = \frac{1600}{1000} = 1,6 \approx 2 \text{ групи}$$

де: $V_{заг.}$ – загальна місткість резервуарів, [м³]; $V_{доп.}^{zp.}$ – максимально допустима місткість групи, [м³];

4) Зобразимо план розташування груп резервуарів (рис.4).

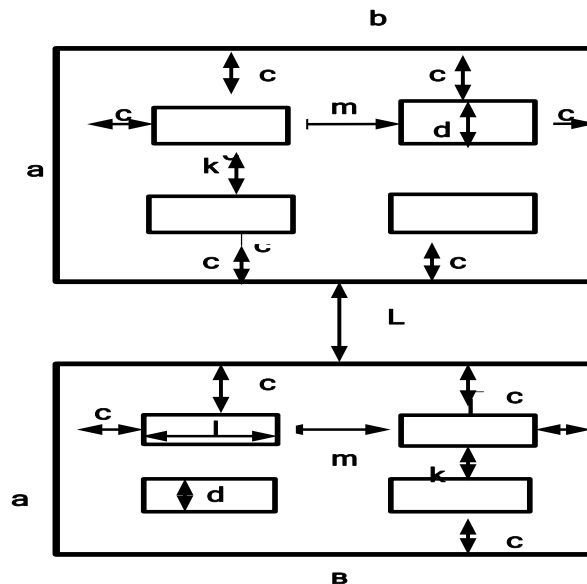


Рис. 4. План розташування горизонтальних циліндричних резервуарів для скрапленого газу

5) Визначаємо висоту обвалування для окремої групи, згідно з п. 11.50 ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”: «Для кожної групи надземних резервуарів за периметром повинно передбачатися замкнуте обвалування чи огорожувальна стінка з негорючих матеріалів (цегли, бутобетону, бетону) заввишки не менше 1 м, розраховані 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 проясненні між наземними резервуарами (між твірними горизонтальних циліндричних резервуарів) визначаємо за п.11.49. ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання” «Всередині групи відстані у проясненні 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 ніж 10 м (п.11.49. ДБН В 2.5-20–2018): $l = 22,9 \text{ м}$;

- відстані від резервуарів до підшви обвалування чи обгороджувальної стінки повинні дорівнювати половині діаметра найближчого резервуара, але не меншою за 1 м (п.11.50. ДБН В 2.5-20–2018 „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. 11.50 ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання”, приймається $h_{обв.} = 1,0 \text{ м}$.

7) Визначається відстань між групами резервуарів згідно з ДБН В 2.5-20–2018 „Газопостачання” (табл. 34 додатків).

Оскільки, загальна місткість резервуарів в групі 800 м^3 , то відстань між групами резервуарів, згідно з табл. 17. ДБН В 2.5-20–2018 „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 $V_{ел.} = 200 \text{ м}^3$ кожен, 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 $V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}$ згідно з нормативним документом:

$$V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}} = 2400 \text{ м}^3$$

3) Визначаємо кількість груп резервуарів за формулою:

$$N = \frac{V_{\text{заг.}}}{V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}} = \frac{1200}{2400} = 0,5 \approx 1 \text{ група},$$

де: $V_{\text{заг.}}$ – загальна місткість електродегідраторів, м^3 ; $V_{\text{доп.}}^{\text{сп.}}$ – максимально допустима місткість групи електродегідраторів, м^3 .

4) Зобразимо план розташування груп електродегідраторів (рис.5).

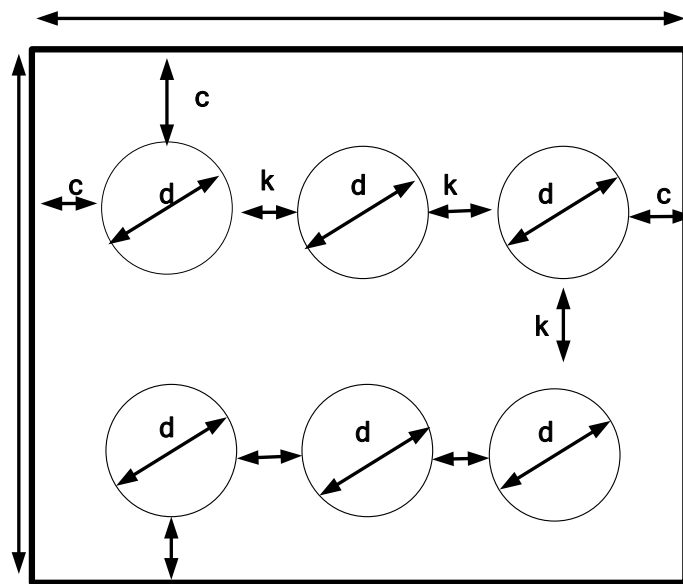


Рис. 5. План розташування кулястих електродегідраторів

5) Визначаємо висоту обвалування для окремої групи за формулою:

$$h_{\text{обв.}} = \frac{V_{\text{max}}}{a \cdot b},$$

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. 11.50 ДБН В 2.5-20-2018 „Газопостачання”, приймаємо висоту обвалування $h_{обв.} = 1 \text{ м}$.

Відповідь. Висота обвалування $h_{обв.} = 1,0 \text{ м}$.

7.6. Задачі для самостійного розв'язання

7.1. Визначити кількість груп, максимально допустиму місткість групи, висоту обвалування для окремої групи та мінімально допустиму відстань між групами резервуарів для зберігання бензину. Відстань між резервуарами, діаметри резервуарів, а також відстані між резервуарами та внутрішніми схилами обвалування прийняти нормативною.

Дані для розрахунку (вид резервуара, кількість резервуарів та об'єм) наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|------|
| Вид резервуарів | РВС | РВСП | РВСП | РВСПП | РВС | РВСПП | РВСП | РВС | РВСПП | РВСП |
| Кількість резервуарів, n | 10 | 5 | 4 | 8 | 12 | 6 | 10 | 8 | 4 | 5 |
| Ємність кожного резервуара, м ³ | 2000 | 3000 | 10000 | 5000 | 2000 | 20000 | 3000 | 5000 | 20000 | 5000 |

7.2. Склад підприємства містить N резервуарів 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 ЛЗР та ГР. Відстань між резервуарами, відстані між резервуарами та внутрішніми схилами обвалування прийняти нормативною. Дані для розрахунку (вид резервуара, вид рідини, кількість резервуарів, їх об'єм та діаметр) наведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|-----------------|--------|---------------|---------------|-----------------|-------|---------------|-------|---------------|-----------------|
| Вид резервуара | РВС | РВСП | РВСП | РВСПП | РВС | РВСПП | РВСП | РВСП | РВС | РВС |
| 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 наведені 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, l , м | 8,3 | 11,4 | 14,7 | 18,5 | 22,9 | 8,3 | 11,4 | 14,7 | 18,5 | 22,9 |
| Діаметр, 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 | 20 | 14 | 8 | 10 | 12 | 8 | 15 | 10 | 6 | 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 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $V_{\text{заг}}, \text{M}^3$ | 200000 | 180000 | 160000 | 150000 | 1200000 | 300000 | 280000 | 260000 | 250000 | 240000 |
| Вид резервуарів | РВСПП | РВСП | РВС | РВСПП | РВСП | РВС | РВСПП | РВСП | РВС | РВСПП |
| Вид рідини | ЛЗР | бензин | ЛЗР | ГР | ЛЗР | ГР | ЛЗР | ГР | ЛЗР | ГР |
| Об'єм резервуара, M^3 | 50000 | 30000 | 20000 | 30000 | 10000 | 30000 | 20000 | 30000 | 50000 | 40000 |

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, M^3 | 25 | 63 | 100 | 160 | 200 | 25 | 63 | 100 | 160 | 200 |
| Діаметр електродегідратора d, m | 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 $V_{\text{заг.}}, \text{ м}^3$ | 200 | 630 | 400 | 1600 | 2400 | 250 | 756 | 700 | 2560 | 2800 |
| 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 | 16 | 14 |

Розділ III. КАТЕГОРІЇ ПРИМІЩЕНЬ, БУДИНКІВ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

8. Методика визначення категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

8.1. Основні теоретичні положення

ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 «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 – помірнопожежонебезпечна, характеризується відсутністю горючих матеріалів, але застосуванням високих температур;
- категорія Д – зниженопожежонебезпечна, 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 блока 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 ДСТУ Б В.1.1–36:2016 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-пожежо-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-пожежо-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 пожежо-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 помірно- пожежо- небез- печна | 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 знижено- пожежо- небез- печна | 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 розташування (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 створюють пожежне навантаження, за умови, що приміщення не відноситься до категорій А і Б. Розрахункова площа при визначенні питомої пожежної навантаги дорівнює фактичній площі приміщення.

Примітка 3. Під час розрахунку пожежної навантаги, важкогорючі речовини і матеріали включаються у розрахунок у тому випадку, якщо вони знаходяться разом з горючими речовинами і матеріалами. Якщо у приміщенні знаходяться тільки важкогорючі речовини і матеріали, приміщення відноситься до категорії Д.

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 безпеки в якості розрахункового необхідно вибирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість речовин або матеріалів, найнебезпечніших 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 з 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 довідникових або експериментальних 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 (T=3600 с). За розрахункову температуру приймається максимальна температура повітря в населеному пункті (кліматичній зоні).

Під час розрахунку категорії приміщення за пожежною небезпекою (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 23 (додатків).

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 23, 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 23, 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:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_{g,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (8.1)$$

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 під час аварії, [кг]; V_g – вільний об'єм приміщення, [м³]; $\rho_{g,n}$ – густина газу або пари при розрахунковій температурі t_p , [кг·м⁻³]; $C_{ст}$ – стехіометрична концентрація горючих газів або парів легкозаймистих чи горючих рідин, [% об.]; K_n – коефіцієнт, який враховує негерметичність приміщення і неадіабатичність процесу горіння. Допускається приймати $K_n=3$; Z – коефіцієнт участі горючих газів або парів ЛЗР та ГР у вибуху (приймається за таблицею 13).

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:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_g \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (8.2)$$

де: m – маса горючого газу або пари легкозаймистих чи горючих рідин (або їх сумішей), які надійшли в приміщення під час 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_n – коефіцієнт негерметичності приміщення; $K_n=3$.

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:

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_z}{4} - \frac{n_o}{2}, \quad (8.4)$$

де: n_c, n_n, n_o, n_z – 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:

$$m_{z, p} = V_{бл.} \cdot \rho_{z, p}, \quad (8.7)$$

де: $V_{\text{бл.}}$ – об’єм газу, який вийшов з блока, $[\text{м}^3]$; $\rho_{\text{г, р}}$ – 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 $101,3 \text{ кПа}$; V – об’єм апарата, $[\text{м}^3]$.

9. Об’єм рідини, що виходить із апарата 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 $101,3 \text{ кПа}$; 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:

$$m = m_p + m_{\text{смк.}} + m_{\text{нов.}}, \quad (8.14)$$

де: m_p – маса рідини, яка випарувалась з поверхні розливу, $[\text{кг}]$; $m_{\text{смк.}}$ – маса рідини, яка випарувалась з поверхні відкритої ємності, $[\text{кг}]$; $m_{\text{нов.}}$ – маса рідини, яка випарувалась з пофарбованої поверхні, $[\text{кг}]$.

15. Маса рідини, яка випарувалась (кожен з доданків у формулі (8.14) визначається за формулою:

$$m = W \cdot F_v \cdot \tau_{\text{вип}}, \quad (8.15)$$

де: F_v – площа випаровування, $[м^2]$;

$\tau_{\text{вип.}}$ – тривалість надходження горючих газів, парів ЛЗР чи ГР в приміщення, $[с]$;

W – інтенсивність випаровування, $[кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}]$, інтенсивність випаровування W визначається за довідковими і експериментальними даними.

16. Інтенсивність випаровування $W, [кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}]$ для легкозаймистих рідин, які не нагріті вище температури навколишнього середовища, за відсутності даних допускається розраховувати за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (8.16)$$

де: M – молекулярна маса, $[г \cdot моль^{-1}]$;

P_H – тиск насичених парів при розрахунковій температурі рідини t_p , $[кПа]$;

– коефіцієнт, що залежить від швидкості і температури повітряного потоку над поверхнею випаровування, приймається за таблицею 7.

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:

$$m_{\text{розл.}} = 10^{-2} \cdot V_{\text{вл.}} \cdot \varphi \cdot \rho_p, \quad (8.18)$$

19. Розрахункова температура рідини визначається за формулою:

$$t_{\text{рід.}} = 0,5 \cdot (t_{\text{рід.}} + t_{\text{нов.}}), \quad (8.19)$$

20. Тривалість повного випаровування рідини, що розлилася, визначається за формулою:

$$\tau_g = \frac{m_p}{W \cdot F_v} \quad (8.20)$$

21. Коефіцієнт K , що враховує роботу аварійної вентиляції, визначається за формулою:

$$K = A \cdot \tau_{\text{вип.}} + 1 \quad (8.21)$$

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:

$$\text{а) газу } m^* = \frac{m}{1 + A \cdot \tau} \quad (8.22)$$

$$\text{б) пари рідини } m^* = \frac{m}{1 + A \cdot \tau_{\text{вип.}}} \quad (8.23)$$

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: C, H, 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:

$$H_n = m_p \cdot C_p \cdot (t_{pid.} - t_k) \quad (8.29)$$

27. Маса парів, яка може утворюватися від теплоти перегрівання рідини визначається за формулою:

$$m_n = \frac{H_n}{H_{eun.}} \quad (8.30)$$

28. Маса парів у об'ємі апарата, вільного від рідини визначається за формулою:

$$m_{об.} = V \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_n \quad (8.31)$$

29. Швидкість витікання рідини із аварійного отвору під тиском визначається за формулою:

$$U_p = \mu \cdot \sqrt{0,2 \cdot P_p \cdot g_s}, \quad (8.32)$$

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 надходить у приміщення з технологічного блока у результаті аварії, визначається за формулою:

$$m = V_{ол.} \cdot \rho_z \quad (8.34)$$

32. Вільний об'єм приміщення визначається за формулою:

$$V_{\text{вільн.}} = l \cdot b \cdot h \cdot \frac{K_{\text{вільн.}}}{100} \quad (8.35)$$

33. Маса горючого пилу, що відклався у приміщенні до моменту аварії, визначається за формулою:

$$m_{\text{п}} = K_{\text{Г}} \cdot (1 - K_{\text{п}}) \cdot (m_1 + m_2), \quad (8.36)$$

де: $K_{\text{Г}}$ – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу, [кг];

$K_{\text{п}}$ – 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 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, [м^3] визначається за формулою:

$$V_n = \frac{1,036 \cdot 10^{-8}}{\rho_r} \cdot 4 \cdot [I_1 \cdot n_1 + I_2 \cdot n_2 + \dots + I_i \cdot n_i] \cdot 3600, \quad (8.42)$$

де: ρ_r – густина водню, при розрахунковій температурі повітря, $[\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}]$;
 I_i – максимальний зарядний струм i -ої батареї, А;
 n_i – кількість акумуляторів i -ої батареї.

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 $l_{\text{гр.з}}$ між сусідніми ділянками розміщення (розливу) складових пожежного навантаження у приміщеннях категорії Д визначають за формулами:

$$l_{\text{гр.з}} \geq 15 \text{ м, якщо } H \geq 11 \text{ м,} \quad (8.44)$$

$$l_{\text{гр.з}} \geq 26 - H, \text{ якщо } H < 11 \text{ м} \quad (8.45)$$

42. Якщо під час визначення критеріїв з пожежної безпеки приміщення за формулою (8.43), величина пожежного навантаження Q , МДж/м², що складається з матеріалів, зазначених у п.39, на окремій ділянці відповідає нерівності:

$$Q \geq 0,64 \cdot g_{\text{т}} \cdot H^2, \quad (8.46)$$

то приміщення належить до категорії В.

У наведеній нерівності: $g_{\text{т}}$ – питоме пожежне навантаження, [МДж/м²]; H – 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 $g_{\text{т}}$ приймається рівною 180 МДж/м².

43. Гранична площа окремої ділянки $S_{\text{гр}}$, м², у приміщеннях категорії Д, на якій дозволяється розміщення пожежного навантаження, що складається з горючих речовин і/або матеріалів, визначається за формулою:

$$S_{\text{гр}} = 0,64 \cdot H^2. \quad (8.47)$$

Структура розрахунку категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою

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 безпекою.

8.2. 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.7.12 (е) [4]) весь скраплений газ випаровується.

Визначимо надлишковий тиск можливого вибуху за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{M_p \cdot z}{V_b \cdot \rho_p} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}$$

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.7.2.1. [4] допускається вважати рівним 101,3 кПа; M_p – маса пропану, що виходить із витратного балона, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.7.2.1. [4] та таблиці 13 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_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.7.2.1. [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.7.1.4. [4], вважатимемо, що вільний об'єм приміщення умовно дорівнює 80 % від його геометричного об'єму. Тобто, вільний об'єм виробничого приміщення визначимо за формулою:

$$V_g = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (90 \cdot 30 \cdot 9) = 19440 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення [м].

Густина 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:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{M_n \cdot z}{V_g \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (843 - 101) \cdot \frac{51 \cdot 0,5}{19440 \cdot 1,83} \cdot \frac{100}{3,97} \cdot \frac{1}{3} = 4,47 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. Незважаючи на те, що пропан відноситься до горючих вибухонебезпечних газів, на підставі вимог п.6.1. 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 пожежонебезпечної «В».

Задача 8.2. Компресорний цех для компримування природного газу розташований в загальному виробничому приміщенні розміром 123х6х6 м. 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 засувок L₁=L₂=2 м, тривалість перекривання засувок 20 с. 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:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m_z \cdot z}{V_n \cdot \rho_z} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n}$$

де: P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для метану він становить 706 кПа; P_o – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.7.2.1. [4] вважатимемо рівним 101 кПа; m_z – маса метану, що виходить із компресора і трубопроводів у приміщення, з врахуванням роботи вентиляції, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.7.2.1. [4] та таблиці 13 приймаємо його рівним 0,5; V_n – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_n – густина метану, [кг/м³]; C_{cm} – стехіометрична концентрація метану, [% об.]; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.7.2.1. [4] приймемо рівним 3.

Маса метану, який вийде в приміщення з компресора визначається за формулою:

$$m_z^* = \left(V_{an} \cdot \frac{P_p}{1 \cdot 10^5} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{i_k} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{j_{тр}} \cdot f_{j_{тр}} \cdot \frac{P_p}{1 \cdot 10^5} \right) \cdot \rho_r =$$

$$= (0,7 \cdot \frac{5,6 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^5} \cdot 1 + 3 \cdot 20 + (2 \cdot 0,19) \cdot \frac{56 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} + (2 \cdot 0,19) \cdot \frac{5,6 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^5}) \cdot 0,67 = 94,98 \text{ кг}$$

де: V_{an} – геометричний внутрішній об'єм компресора, [м³]; $V_{an} = 0,7 \text{ м}^3$; ε – ступінь заповнення апарата; $\varepsilon = 1$; P_p – робочий тиск середовища в апараті; $P_p = 5,6 \text{ МПа}$; q_{i_k} – продуктивність і-го компресора, [м³/с]; $q_{i_k} = 3 \text{ м}^3/\text{с}$; τ_i – тривалість відключення і-го збудника витрат, [с]; $\tau_i = 20 \text{ с}$; $l_{j_{тр}}$ – довжина (м) j-ї ділянки трубопроводу; $l = 2 \text{ м}$; $f_{j_{тр}}$ – переріз (м²) j-ї ділянки трубопроводу; $f_{j_{тр}} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,19 \text{ м}^2$, де: d – діаметр трубопроводу, [м]; ρ_z – густина газу при робочій температурі, [кг/м³]; n – кількість збудника витрат; $n = 1$; k – число ділянок трубопроводів; $k = 2$.

Маса газу, яка буде акумульована в приміщенні до моменту вибуху з врахуванням роботи вентиляції, визначається 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 (CH_4).

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 (CH_4). 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, [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:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m_z \cdot z}{V_n \cdot \rho_m} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (706 - 101) \cdot \frac{91,3 \cdot 0,5}{3542,4 \cdot 0,67} \cdot \frac{100}{9,36} \cdot \frac{1}{3} = 41,4 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. Оскільки метан відноситься до горючих вибухонебезпечних газів і надлишковий тиск можливого вибуху становить більше 5 кПа, то, на підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], приміщення компресорного цеху для компримування природного газу відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії «А».

Задача 8.3. Визначити, до якої категорії відноситься приміщення розмірами 12х6х3 м, у якому розміщено газгольдер з метаном об'ємом 10 м^3 , 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 °С.

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;
- вважатимемо, що під час аварії продовжувалось надходження газу в приміщення протягом часу, необхідного для автоматичного перекриття засувок (3 с).

Надлишковий тиск вибуху визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{\max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для метану він становить 706 кПа; P_0 – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.7.2.1. [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.7.2.1. [4] та таблиці 13 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.7.2.1. [4] приймаємо рівним 3.

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_{\text{в}} = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (12 \cdot 6 \cdot 3) = 178,3 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Густину газу визначаємо за формулою:

$$\rho_{\text{г}} = \frac{M}{V_{\text{г}}(1 + 0,00367 \cdot t_{\text{г}})} = \frac{16}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 0,665 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою:

$$\beta = n_{\text{C}} + \frac{n_{\text{H}} - n_{\text{Г}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2} = 1 + \frac{4 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 2.$$

Стехіометричну концентрацію метану визначаємо за формулою:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36 \text{ \%}.$$

Маса газу, який надійшов у приміщення внаслідок аварії, визначаємо за формулою:

$$m_{\text{г}} = V_{\text{вл}} \cdot \rho_{\text{г}} = (V_{\text{а}} + V_{\text{т}}) \cdot \rho_{\text{г}}.$$

Об'єм газу, що виходить з апарата, визначаємо за формулою:

$$V_{\text{а}} = 0,01 \cdot P_{\text{п}} \cdot V = 0,01 \cdot 505 \cdot 10 = 50,5 \text{ м}^3.$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів, розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{т}} = V_{1\text{т}} + V_{2\text{т}}$$

Об'єм газу, що виходить із трубопроводів до його відключення, визначимо за формулою:

$$V_{1\text{т}} = q \cdot \tau_{\text{відкл}}.$$

Кількість газу, що надходить у приміщення за 1с, розраховуємо за формулою:

$$q = f \cdot v$$

де: f – площа отвору аварійного пошкодження, [м^2]; v – швидкість витікання газу визначаємо за формулою:

$$v = 1,067 \cdot \sqrt{R \cdot T_{\text{роб}}} = 1,067 \cdot \sqrt{\frac{8314 \cdot 293}{16}} = 416,3 \text{ м} / \text{с}.$$

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:

$$V_{1т} = q \cdot \tau_{\text{відкл}} = 0,523 \cdot 3 = 1,57 \text{ м}^3$$

Кількість газу, що надійде до приміщення після відключення, визначаємо за формулою:

$$V_{2т} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot \frac{d^2}{4} (l_1 + l_2) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 505 \cdot \frac{0,08^2}{4} \cdot (5 + 3) = 0,2 \text{ м}^3,$$

$$V_t = V_{1т} + V_{2т} = 1,57 + 0,2 = 1,77 \text{ м}^3$$

Масу газу, що вийде з блока в результаті аварії, визначаємо за формулою:

$$m_z = (V_a + V_t) \cdot \rho_z = (50,5 + 1,77) \cdot 0,665 = 34,76 \text{ кг}$$

Визначаємо коефіцієнт К, 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:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_r} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (706 - 101) \cdot \frac{34,61 \cdot 0,5}{172,8 \cdot 0,665} \cdot \frac{100}{9,36} \cdot \frac{1}{3} = 324,46 \text{ кПа} \end{aligned}$$

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 перевищить 5 кПа. На підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], приміщення станції для перекачування метану належить до вибухопожежонебезпечної категорії А.

Задача 8.4. Визначити категорію приміщення розмірами 12x9x12 м, 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 становить 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 впродовж часу, необхідного для ручного перекриття засувок (300 с).

Надлишковий тиск вибуху визначимо за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

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.7.2.1. [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.7.2.1. [4] та таблиці 13 приймемо його рівним 0,5; V_B – 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.7.2.1. [4] приймемо рівним 3.

Вільний об'єм приміщення визначимо за формулою:

$$V_g = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (12 \cdot 9 \cdot 12) = 1036,8 \text{ м}^3$$

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:

$$\rho_e = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{28}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,164 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згорання 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:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 3} = 6,44 \text{ \%}.$$

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:

$$V_{1т} = q \cdot \tau_{відкл} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 1,5 \text{ м}^3.$$

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:

$$V_{\text{бл.}} = 24,44 + 1,577 = 26,017 \text{ м}^3$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_r} \cdot \frac{100}{C_{\text{см}}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (830 - 101) \cdot \frac{18,16 \cdot 0,5}{1036,8 \cdot 1,164} \cdot \frac{100}{6,44} \cdot \frac{1}{3} = 28,39 \text{ кПа} \end{aligned}$$

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. На підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], вказане приміщення належить до вибухопожежонебезпечної категорії А.

Задача 8.5. Цех фарбування розташований в загальному виробничому приміщенні розміром 25 х 10 х 6 м. В цеху встановлено ванну 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 $\rho = 1470 \text{ кг/м}^3$. Цех обладнаний загальною та аварійною вентиляцією (кратність обміну повітря аварійної вентиляції $A = 6 \text{ год}^{-1}$), але об'єкт не належить до першої категорії за енергозабезпеченням. Розрахункова температура в приміщенні +20°C.

Визначити категорію виробничого приміщення.

Розв'язок

Для розрахунку прийемо такий варіант можливої аварійної ситуації:

- за найбільш небезпечну речовину у приміщенні візьмемо розчинник фарби – ацетон – ЛЗР з $T_{\text{ст}} = -5^\circ\text{C}$;
- вважатимемо, що під час аварії в приміщення виллється весь вміст ванни;

- на ділянці знаходиться конвеєр з пофарбованими виробами ($n=10$) розмірами $0,5 \times 0,4$ 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.7.2.1. [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.7.2.1. [4] та таблиці 13 прийmemo 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.7.2.1. [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.7.1.2.(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: A, B, C_A – константи Антуана: $A=7,15058$; $B=1281,721$; $C_A=237,088$; t_p – робоча температура, $t_p=20$ °С.

Швидкість повітря в приміщенні визначаємо за формулою:

$$u = \frac{A_v \cdot l}{3600} = \frac{6 \cdot 25}{3600} = 0,04 \text{ м/с}$$

Коефіцієнт η , який враховує вплив швидкості та температури повітряного потоку на процес випаровування рідини відповідно до табл.7, дорівнює $\eta = 4,5$.

Інтенсивність випаровування визначимо за формулою:

$$W_v = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s = 10^{-6} \cdot 4,5 \cdot \sqrt{58} \cdot 19,58 = 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$$

Площу випаровування поверхні пофарбованих виробів визначимо 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: $m_\phi = V \cdot \rho = 0,4 \cdot 1470 = 588 \text{ кг}$.

Час випаровування $\tau_g = 8,2 \cdot 10^3 \text{ с}$, 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:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 \%,$$

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 ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$).

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:

$$\rho_z = \frac{M}{V_t} = \frac{58}{24,04} = 2,41 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\text{max}} - P_o) \cdot \frac{m_n \cdot z}{V_n \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (572 - 101) \cdot \frac{487,2 \cdot 0,3}{1200 \cdot 2,41} \cdot \frac{100}{4,91} \cdot \frac{1}{3} = 161,6 \text{ кПа} \end{aligned}$$

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.6.1. та табл.1 [4], приміщення фарбувального цеху відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії «А».

Задача 8.6. Визначити категорію приміщення насосної станції для перекачування етиленгліколю. Розміри приміщення: 8х6х5 м, температура повітря у приміщенні 30 °С, температура рідини 215 °С, продуктивність насоса 0,02 м³/с, робочий тиск 2 атм. Довжина трубопроводів до насоса: підвідного 3 м, відвідного (напірного) 3 м, внутрішній радіус – 0,05 м, тривалість відключення трубопроводів становить 3 с.

Розв'язок

Як розрахунковий варіант аварії розглядається ситуація, коли відбулась розгерметизація трубопроводу.

Надлишковий тиск вибуху визначимо за формулою:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші [кг/м³]; прийємо 900 кПа; P_0 – початковий тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.7.2.1. [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.7.2.1. [4] та таблиці 13, прийємо його рівним 0,3; V_B – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; ρ_n – густина парів етиленгліколю, [кг/м³]; $C_{ст}$ – стехіометрична концентрація етиленгліколю, [% об.]; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.7.2.1. [4], прийємо рівним 3.

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_g = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (8 \cdot 6 \cdot 5) = 192 \text{ м}^3$$

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:

$$V_{1T} = q \cdot \tau_{відкл.} = 0,02 \cdot 3 = 0,06 \text{ м}^3$$

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 °С), визначаємо за формулою:

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho = (0,06 + 0,0471) \cdot 1113,1 = 119,21 \text{ кг},$$

де: $\rho = 1113,1 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Теплоту перегрівання рідини визначаємо за формулою:

$$H_n = m_p \cdot C_p \cdot (t_{\text{pid.}} - t_k) = 119,21 \cdot 2,35 \cdot (215 - 197,3) = 4958,5 \text{ кДж},$$

де: $C_p = 2,35 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$

Масу пари етиленгліколю, яка може утворитись через теплоту перегрівання, визначаємо за формулою:

$$m_n = \frac{H_n}{H_{\text{вин.}}} = \frac{4958,5}{812,2} = 6,1 \text{ кг},$$

де: $H_{\text{вин.}} = 812,2 \text{ кДж} / \text{кг}$

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_G}{4} - \frac{n_O}{2} = 2 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{2}{2} = 2,5.$$

Стехіометричну концентрацію пари етиленгліколю визначаємо за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2,5} = 7,63 \text{ \%}.$$

Густина пари етиленгліколю визначаємо за формулою:

$$\rho_e = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{62,07}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 30)} = 2,495 \text{ кг} / \text{м}^3:$$

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_u} = \\ &= (900 - 101) \cdot \frac{6,1 \cdot 0,3}{192 \cdot 2,495} \cdot \frac{100}{7,63} \cdot \frac{1}{3} = 13,34 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Відповідь. У приміщенні знаходиться горюча рідина етиленгліколь ($t_{\text{спалаху}} = 111 \text{ °С}$), 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 перевищить 5 кПа. На підставі вимог п.6.1. та табл. 1 [4], приміщення насосної з перекачування етиленгліколю відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії Б.

Задача 8.7. Насосна станція розташована в загальному виробничому приміщенні розміром 25x15x9 м. В приміщенні розташовані 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. Густина нафти $\rho = 935 \text{ кг} / \text{м}^3$.

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:

$$\Delta P = \frac{m_n \cdot H_m \cdot P_0 \cdot z}{V_v \cdot \rho_n \cdot C_n \cdot (t_n + 273)} \cdot \frac{1}{K_n},$$

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.7.2.1. [4], допускається приймати рівним 101 кПа ; m_n – маса пари нафти, що знаходиться в приміщенні, з врахуванням роботи вентиляції, [кг]; z – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху; відповідно до вимог п.7.2.1. [4] таблиці 13, приймаємо його рівним $0,3$; V_v – вільний об'єм виробничого приміщення, [м^3]; ρ_n – густина повітря у приміщенні до вибуху при заданій температурі, [$\text{кг}/\text{м}^3$]; C_n – теплоємність повітря; на підставі п.7.2.2.[4], приймаємо рівною $1,010 \text{ кДж/кг} \cdot \text{K}$; T_0 – абсолютна початкова температура в приміщенні до вибуху; за умовою дорівнює $+20^\circ\text{C}$ або 293 K ; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.7.2.1. [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, [м^3]; $V_n = 0,5 \text{ м}^3$; ε – ступінь заповнення насоса; $\varepsilon = 1$; q_{in} – продуктивність i -го насоса, [$\text{м}^3/\text{с}$]; $q_{in} = 100 \text{ м}^3 / \text{год} = 0,03 \text{ м}^3 / \text{с}$; τ_i – тривалість відключення i -го збудника витрат, [с];

$\tau_i = 45 \text{ c}$; l_{jnp} – довжина (м) j -ї ділянки трубопроводу; $l=2\text{м}$; f_{jnp} – переріз j -ї ділянки трубопроводу, $[\text{м}^2]$; $f_{jnp} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} = 0,12 \text{ м}^2$, де: d – діаметр трубопроводу, $[\text{м}]$; ρ_n – густина нафти при робочій температурі, $[\text{кг}/\text{м}^3]$; $\rho_n = 935 \text{ кг}/\text{м}^3$; n – кількість збудника витрат; $n=1$; k – число ділянок трубопроводів; $k=2$.

Визначаємо площу випаровування нафти при її розливі за формулою:

$$F_p = k \cdot V_n = 1,0 \cdot 2600 = 2600 \text{ м}^2$$

де: V_n – об'єм розлитої нафти, $[\text{м}^3]$; $V_n = \frac{m_n^*}{\rho_n} = \frac{2434,4}{935} = 2,6 \text{ м}^3 = 2600 \text{ л}$; k – коефіцієнт розливу рідин. Відповідно до п.7.1.2. (г) [4], 1 л нафти при розливі буде займати площу $1,0 \text{ м}^2$ і коефіцієнт k буде дорівнювати $1,0 \text{ м}^2/\text{л}$.

Визначаємо площу приміщення:

$$F_{np} = L \cdot B = 25 \cdot 15 = 375 \text{ м}^2$$

Оскільки, $F_{np} < F_p$, то приймаємо площу випаровування $F_e = 375 \text{ м}^2$.

Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою:

$$W_e = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s = 10^{-6} \cdot 1,7 \cdot \sqrt{105} \cdot 21,7 = 3,78 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2},$$

де: P_s – тиск насичених парів нафти, $[\text{кПа}]$; $P_s = 21,7 \text{ кПа}$; 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:

$$u = \frac{A_e \cdot l}{3600} = \frac{7 \cdot 25}{3600} = 0,05 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1};$$

Визначаємо час повного випаровування з площі підлоги розлитої рідини:

$$\tau_e = \frac{m_n^*}{W_e F_e} = \frac{2434,4}{3,78 \cdot 10^{-4} \cdot 375} = 1,7 \cdot 10^4 \text{ с},$$

τ_e перевищує 1 годину. Прийемо у подальшому розрахунку час випаровування 1 година.

Масу парів рідини, що випарувалася з розливу, визначаємо за формулою:

$$m_n = W_e \cdot F_e \cdot \tau = 3,78 \cdot 10^{-4} \cdot 375 \cdot 3600 = 510,3 \text{ кг}.$$

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:

$$V_e = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (25 \cdot 15 \cdot 9) = 2700 \text{ м}^3,$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, $[\text{м}]$.

Надлишковий тиск можливого вибуху визначаємо за формулою:

$$\Delta P = \frac{m_n \cdot H_m \cdot P_0 \cdot z}{V_v \cdot \rho_n \cdot C_n \cdot (t_n + 273)} \cdot \frac{1}{K_n} =$$

$$= \frac{468,2 \cdot 43589,82 \cdot 101 \cdot 0,3}{2700 \cdot 1,205 \cdot 1,01 \cdot (20 + 273)} \cdot \frac{1}{3} = 214,1 \text{ кПа}$$

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.6.1. та табл.1 [4], приміщення насосної станції відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії «А».

Задача 8.8. Визначити категорію складського приміщення, де зберігаються балони із скрапленим газом. Складське приміщення має розміри – 15x10x5 м. 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:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_v \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n}$$

де: H_m – теплота згоряння суміші газів, [кДж/кг]; P_0 – 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_n – 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_0 — 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 із 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:

$$V_e = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (15 \cdot 10 \cdot 5) = 600 \text{ м}^3$$

Густина повітря визначаємо за формулою:

$$\rho_2 = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{29}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 25)} = 1,185 \text{ кг / м}^3.$$

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 зберігаються балони з горючим газом у такій кількості, що у випадку аварійної ситуації може утворитися газоповітряна вибухонебезпечна суміш, у разі займання якої розвинеться розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який перевищить 5 кПа. На підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], приміщення складу для зберігання балонів із скрапленим газом пропан-бутаном відноситься до вибухопожежонебезпечної 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 11x10x6 м, температура у приміщенні 20 °С.

Розв'язок

При визначенні надлишкового тиску вибуху у якості розрахункового варіанта аварії приймемо розгерметизацію однієї бочки і розливання ацетону по підлозі приміщення.

Надлишковий розрахунковий тиск вибуху визначаємо за формулою:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_e \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші [кПа]; за довідниковими даними для пари ацетону він становить 572 кПа; P_0 – початковий

тиск в приміщенні; відповідно до вимог п.3.5 [4] приймаємо рівним 101 кПа; $m_{п}$ – маса пари 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; $V_{в}$ – вільний об'єм виробничого приміщення, [м³]; $\rho_{п}$ – густина пари ацетону, [кг/м³]; $C_{ст}$ – стехіометрична концентрація ацетону, [% об.]; $K_{н}$ – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадібатичності процесу горіння; на підставі п.3.5 [4], приймаємо рівним 3.

Вільний об'єм приміщення визначаємо за формулою:

$$V_{в} = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (11 \cdot 10 \cdot 6) = 528 \text{ м}^3,$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Стехіометричний коефіцієнт кисню у реакції згоряння визначаємо за формулою:

$$\beta = n_C + \frac{n_H - n_{Г}}{4} - \frac{n_O}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4.$$

Стехіометричну концентрацію пари ацетону визначаємо за формулою:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 4} = 4,91 \%$$

Густину пари ацетону визначаємо за формулою:

$$\rho_{п} = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)} = \frac{58,08}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 2,414 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Об'єм рідини, яка може потрапити у приміщення, дорівнює:

$$V_{вл.} = V \cdot \varepsilon = 0,084 \cdot 0,95 = 80 \text{ дм}^3.$$

Така кількість рідини може розлитись на площі 80 м². Фактична площа підлоги 120 м². Для розрахунку приймаємо площу випаровування $F_e = 80 \text{ м}^2$.

Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{п}.$$

Коефіцієнт η , який беремо з таблиці 2, дорівнює 1.

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою:

$$P_{п} = 10^{\left(A - \frac{B}{t_p + C_A} \right)} = 10^{\left(6,37551 - \frac{1281,21}{20 + 237,088} \right)} = 24,5 \text{ кПа}$$

Інтенсивність випаровування визначаємо за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{58,08} \cdot 24,5 = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{с},$$

Масу ацетону, що виливається, визначаємо за формулою:

$$m_{розл.} = V_{вл.} \cdot \rho_{п} = 0,08 \cdot 791 = 63,28 \text{ кг}.$$

Тривалість повного випаровування визначаємо за формулою:

$$\tau_e = \frac{m_p}{W \cdot F_e} = \frac{63,28}{1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 80} = 4230 \text{ с}$$

Приймаємо розрахункову тривалість випаровування, згідно з п.7.1.2 [4], – 3600 с.

Масу пари ацетону, що випаровується за розрахунковий час, визначаємо за формулою:

$$m = W \cdot F_e \cdot \tau_{\text{вип}} = 1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 3600 = 53,86 \text{ кг},$$

Надлишковий тиск вибуху визначаємо за формулою:

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_e \cdot \rho_n} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n} = (572 - 101) \cdot \frac{53,86 \cdot 0,3}{528 \cdot 2,414} \cdot \frac{100}{4,91} \cdot \frac{1}{3} = 40,45 \text{ кПа}$$

Відповідь. У складському приміщенні зберігається ацетон у такій кількості, що у випадку аварійної ситуації може утворитися пароповітряна вибухонебезпечна суміш, у разі займання якої розвинеться розрахунковий надлишковий тиск вибуху, який перевищить 5 кПа. Оскільки, температура спалаху ацетону менша за 28 °С, то, на підставі вимог п.6.1. та табл. 1 [4], приміщення складу для його зберігання віднесемо до вибухопожежонебезпечної категорії А.

Задача 8.10. Шліфувальна дільниця розташована в загальному виробничому приміщенні розміром 90x30x9 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°С. 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°С.

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, який перебуває у завислому 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.7.2.2. [4], становить 101 кПа;

z – коефіцієнт участі завислого пилу у вибуху; на підставі п.7.3.1 [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.7.2.2. [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.7.2.1. [4], прийmemo рівним 3.

Продуктивність шліфувального верстата за пилом визначаємо за формулою:

$$q = \rho \cdot b \cdot Q = 710 \cdot 0,0005 \cdot 0,00139 = 0,00049 \text{ кг/с}$$

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 за площею обробки. Згідно з завданням вона становить 5 м²/год або 0,00139 м²/с.

Масу пилу, що надійде в приміщення із верстатів під час аварії, визначаємо за формулою:

$$M_{ав} = (M_{ан} + n \cdot q \cdot T_{ав}) \cdot K_n = (0 + 5 \cdot 0,00049 \cdot 300) \cdot 1 = 0,735 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де: $M_{ан}$ – маса пилу, що нагромадилась в апаратах і вийде в приміщення під час аварії; оскільки, в шліфувальних верстатах відсутні бункери нагромадження пилу, значення $M_{ан}$ буде дорівнювати нулю; n – кількість шліфувальних верстатів; за завданням на ділянці 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.7.1.2.(3) [4] при ручному відключенні цей час буде дорівнювати 300 с; K_n – коефіцієнт пилення, що враховує частку пилу, який вийде із верстатів та перейде у завислий стан; відповідно до вимог п.7.3.4 [4], цей коефіцієнт буде дорівнювати 1.

Масу пилу, що нагромадилась в приміщенні з часу останнього поточного прибирання, визначаємо за формулою:

$$M_1 = (1 - K_e) \cdot n \cdot q \cdot K_z \cdot T_{np} = \\ = (1 - 0,7) \cdot 5 \cdot 0,00049 \cdot 0,75 \cdot 57600 = 31,75 \text{ кг}$$

де: K_e – коефіцієнт ефективності роботи вентиляції, що враховує частку пилу, 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_z – 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_{np} – робочий час між поточними прибираннями; з врахуванням двозмінного режиму роботи підприємства він буде дорівнювати 16 годинам або 57 600 с.

Масу пилу, що нагромадилась в приміщенні з часу останнього генерального прибирання, визначаємо за формулою:

$$M_2 = M_1 \frac{1 - (1 - K_{np})^n}{K_{np}} = 31,75 \frac{1 - (1 - 0,6)^{22}}{0,6} = 52 \text{ кг},$$

де: M_1 – маса пилу, що нагромаджується в приміщенні за час між поточними прибираннями, [кг]; за розрахунком вона дорівнює 31,75 кг; K_{np} – коефіцієнт ефективності прибирання, що враховує частку пилу, який вилучається з приміщення під час поточного прибирання; для розрахунку приймаємо найбільш неефективне сухе прибирання і на підставі п.7.3.5. [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 пилу, 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.7.3.3. [4], він може дорівнювати 0,9.

Загальну масу пилу, яка буде перебувати 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:

$$V_e = 0,8 \cdot (L \cdot B \cdot H) = 0,8 \cdot (90 \cdot 30 \cdot 9) = 19440 \text{ м}^3$$

де: L, B, H – довжина, ширина та висота приміщення, [м].

Надлишковий тиск можливого вибуху визначаємо за формулою:

$$\Delta P = \frac{M \cdot H_m \cdot P_o \cdot z}{V_e \cdot \rho_n \cdot C_n \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_n} = \frac{76,935 \cdot 19874 \cdot 101 \cdot 0,5}{19440 \cdot 1,205 \cdot 1,010 \cdot 293} \cdot \frac{1}{3} = 3,7 \text{ кПа}$$

Відповідь. Таким чином, на підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], 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 пожежонебезпечної категорії «В».

Задача 8.11. Запроектоване акумуляторне приміщення будинку зв'язку об'ємом $V_{\text{прим}} = 27,2 \text{ м}^3$ обладнують акумуляторною батареєю СК-4 з 12 акумуляторів та акумуляторною батареєю СК-1 з 13 акумуляторів. Максимальна абсолютна температура повітря в районі будівництва $38 \text{ }^\circ\text{C}$. 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:

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_{r,n}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n},$$

де: P_{max} – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші (кПа); приймається 900 кПа; P_0 – початковий тиск в приміщенні, [кПа]; відповідно до вимог п.7.2.1. [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.7.2.1. та таблиці 2 [4], приймаємо його рівним 0,5; V_v – вільний об'єм виробничого приміщення, [м^3]; ρ_n – густина водню, [$\text{кг}/\text{м}^3$]; $C_{\text{ст}}$ – стехіометрична концентрація водню, [% об.]; K_n – коефіцієнт негерметичності приміщення та неадіабатичності процесу горіння; на підставі п.7.2.1. [4], прийемо рівним 3.

Густину 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:

$$V_n = \frac{1,036 \cdot 10^{-8}}{0,0783} [4 \cdot 9 \cdot 13 + 4 \cdot 36 \cdot 12] \cdot 3600 = 1,046 \text{ м}^3;$$

Вільний об'єм акумуляторного приміщення визначаємо за формулою:

$$V_v = 0,8 \cdot V_{\text{прим}} = 0,8 \cdot 27,2 = 21,76 \text{ м}^3$$

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:

$$V_n^* = \frac{V_n}{A/3600 \cdot T + 1} = \frac{1,046}{8+1} = 0,116 \text{ м}^3.$$

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:

$$V_{ав} = A \cdot V_B = 8 \cdot 21,76 = 174 \approx 180 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Відповідь. При обладнанні акумуляторного приміщення аварійною вентиляцією з кратністю повітрообміну $A=8 \text{ год}^{-1}$, допускається не відносити акумуляторне приміщення до категорії А. Згідно з вимогами п.6.1. та табл.1 [4], при тиску вибуху менше 5 кПа, акумуляторне приміщення слід віднести до пожежонебезпечної 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 $S=10 \text{ м}^2$. Питоме 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 ДСТУ Б В.1.1-36:2016, 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 – питоме 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, то, на підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], приміщення відноситься до пожежонебезпечної 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 $L_i = 2,5$ м. Площа піддона дорівнює площі верстата в плані.

Розв'язок

Згідно з п.7.6.4 ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 [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: $G = 0,25 \cdot 900 = 225 \text{ кг}$.

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, на підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], відносимо його до пожежонебезпечної категорії В.

Задача 8.14. Визначити категорію приміщення комплектувальної комори площею $18 \times 3 \text{ м}$ і висотою до перекриття $H=3$ 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 $g = 341,1 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, що перевищує $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, то, на підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], приміщення комплектувальної комори відносимо до пожежонебезпечної 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 м. Довжина стелажа становить 48 м, ширина 1,2 м, відстань між рядами стелажів 2,8 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 розташовано 10 ділянок площею по $57,6 \text{ м}^2$ кожна, відстань між якими становить 2,8 м.

Маса картону, що знаходиться у одному ряду стелажів становить:
10 ярусів \times 16 відсіків \times 3 коробки \times 1кг = 480 кг.

Нижня теплота згоряння картону становить 13,4 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:

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{6432}{57,6} = 111,7 \text{ МДж} / \text{м}^2.$$

де: Q – пожежне навантаження, [МДж];

S – площа розташування матеріалів пожежного навантаження, [м^2].

У даному складському приміщенні мінімальна відстань від поверхні пожежного навантаження до перекриття (H) становить 2,2 м ($7,2 \text{ м} - 5 \text{ м} = 2,2 \text{ м}$).

Визначаємо чи виконується умова нерівності: $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2$

$$0,64 \cdot 180 \cdot 2,2^2 = 557,7 \text{ МДж}.$$

Відповідь. Оскільки $Q=6432$ МДж і умова $Q = 6432 \text{ МДж} \geq 557,7 \text{ МДж}$ виконується, то, на підставі вимог п.6.1. та табл.1 [4], приміщення складу відноситься до пожежонебезпечної категорії В.

Задача 8.16. У складському приміщенні зберігається картон. Розміри приміщення: $24 \times 20 \times 6$ 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.

Розв'язок

Нижня питома теплота згоряння картону становить $13,4$ МДж/кг. Гранична площа окремої ділянки у приміщеннях категорії Д, на якій дозволяється розташування пожежного навантаження, визначається за формулою:

$$S_{sp} = 0,64 \cdot H^2,$$

де: H – відстань від поверхні пожежного навантаження до перекриття, м.

За умовою задачі відстань H дорівнює 6 м (висота приміщення).

$$S_{sp} = 0,64 \cdot H^2 = 0,64 \cdot 6^2 = 23 \text{ м}^2.$$

Гранична площа окремої ділянки у приміщенні категорії Д висотою від пожежного навантаження до перекриття 6 м становить 23 м^2 .

Для того, щоб приміщення складу відносилось до категорії Д необхідно, щоб на кожному квадратному метрі цієї ділянки, згідно з таблицею 1 ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 [4], було розташоване питома пожежне навантаження (g) величиною, що не перевищує 180 МДж/м^2 .

Гранична відстань між цими ділянками ($l_{гр2}$) у приміщенні категорії Д, згідно з п. 7.6.5 ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 [4], визначається за формулою:

$$l_{гр2} = l_{сп1} + (11 - H),$$

де: $l_{сп1}$ – 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 $10,8 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ і, згідно з табл. 4 ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 [4], $l_{сп1}$ дорівнює 8 м.

Визначаємо $l_{гр2}$: $l_{гр2} = l_{сп1} + (11 - H) = 8 + (11 - 6) = 13 \text{ м}$.

Для того, щоб приміщення складу відносилось до категорії Д, необхідно, щоб мінімальна відстань між окремими ділянками площею не більше 23 м^2 з питомих пожежним навантаженням не більше 180 МДж/м^2 становила 13 м .

Якщо ж площу окремої ділянки збільшити на 1 м^2 до 24 м^2 , то буде виконуватись нерівність $Q \geq 0,64 \cdot g \cdot H^2$.

Максимальне пожежне навантаження на площі 24 м^2 становить $Q = 180 \cdot 24 = 4320 \text{ МДж}$.

$$0,64 \cdot g_t \cdot H^2 = 0,64 \cdot 180 \cdot 6^2 = 4147,2 \text{ МДж}.$$

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 м^2 . Максимальне пожежне навантаження на площі 23 м^2 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 м^2 ділянки складського приміщення категорії Д, становить: $m = \frac{180}{13,4} = 13,43$ кг.

Відповідь. Маса картону, який може бути розташований на 1 м^2 ділянки складського приміщення категорії Д, становить: $m = 13,43$ кг.

Задача 8.17. У приміщенні виробничої лабораторії розташовані: шафа витяжна 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 $13,8$ 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 і-го матеріалу з пожежного навантаження, кг; Q_i^p – нижня теплота згоряння і-го матеріалу з пожежного навантаження, МДж/кг.

Питоме пожежне навантаження на ділянці обчислюється за формулою:

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{648,6}{10} = 64,9 \text{ МДж} / \text{м}^2.$$

Згідно з таблицею 1 [4] ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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 зниженопожежонебезпечної категорії Д.

8.3. Задачі для самостійного розв'язання

8.1. Визначити, до якої категорії відноситься приміщення розмірами $A \times B \times H$ м, у якому розміщений апарат об'ємом $V \text{ м}^3$, трубопроводи з внутрішнім діаметром d м, довжина до засувки на підвідному трубопроводі l_1 м, на відвідному – l_2 м. Тиск у системі $P_{\text{роб}}$ 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 °С.

Початкові дані, необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Горючий газ | етан | | аміак | | етилен | | пропан | | бутан | |
| Тиск у системі, $P_{\text{роб}}$, МПа | 2,0 | 4,5 | 8,0 | 0,6 | 10,0 | 1,5 | 4,0 | 2,5 | 6,0 | 32,0 |
| Температура, t_p , °С | 25 | 22 | 20 | 18 | 24 | 21 | 19 | 16 | 23 | 17 |
| Об'єм апарата, V , м^3 | 8,0 | 9,0 | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 | 15,0 | 16,0 | 17,0 |
| Кратність повітрообміну, A , год^{-1} | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Діаметр трубопровода, d , м | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,035 | 0,04 | 0,045 | 0,05 | 0,055 | 0,06 | 0,065 |
| Довжина підвідного трубопровода, l_1 , м | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| Довжина відвідного трубопровода, l_1 , м l_2 , м | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Розміри приміщення, $A \times B \times H$, м | 20x10x4 | | 18x12x5 | | 16x16x4 | | 12x12x6 | | 25x20x7 | |

8.2. Визначити категорію приміщення цеху, у якому знаходиться апарат з горючою рідиною. Розміри приміщення: $A \times B \times H$ м, температура повітря у приміщенні $t_{\text{пов.}}$ °С, температура рідини $t_{\text{рід.}}$ °С. Насос продуктивністю $q \text{ м}^3/\text{с}$, робочий

тиск $P_{\text{роб. атм}}$. Довжина трубопроводів до насоса: підвідного l_1 м, відвідного l_2 м, внутрішній діаметр – d м, тривалість відключення трубопроводів τ с.

Початкові дані, необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-----------|----------|------------|---------|------------|--------|--------------|------------|------------|--------|
| Вид рідини | н-Бутанол | н-Гексан | Ізобутанол | Метанол | н-Пропанол | Стирол | Формальдегід | Хлорбензол | Етилбензол | Етанол |
| 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 |
| Робочий тиск, $P_{\text{роб}}$, атм | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 2,8 | 3,2 | 3,8 | 4,5 | 5 |
| Діаметр трубопровода, d , м | 0,02 | 0,025 | 0,03 | 0,035 | 0,04 | 0,045 | 0,05 | 0,055 | 0,06 | 0,065 |
| Довжина підвідного трубопровода, l_1 , м | 5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| Довжина відвідного трубопровода, l_2 , м | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Температура повітря, $t_{\text{пов}}$, °С | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |
| Температура рідини, $t_{\text{рід}}$, °С | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 185 | 195 | 205 | 215 | 225 |
| Тривалість відключення, τ , с | 25 | 45 | 65 | 85 | 105 | 30 | 50 | 70 | 90 | 120 |
| Розміри приміщення, $A \times B \times H$, м | 20x20x5 | | 25x20x4 | | 20x15x4 | | 30x20x4 | | 25x20x5 | |

8.3. Визначити категорію складського приміщення для зберігання посудин з горючою рідиною. У приміщенні зберігається N посудин з горючою рідиною, об'єм посудини V л, ступінь заповнення – ε . Розміри приміщення $A \times B \times H$ м температура у приміщенні t_p .

Початкові дані, необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-----------------------|----------------|
| Вид рідини | Бензин А-72 (зимовий) | Бензин АИ-93 (зимовий) | Бензин авіаційний Б-70 | Дизельне паливо «З» | Дизельне паливо «Л» | Гас освітлювальний КО-20 | Гас освітлювальний КО-25 | 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 |
| Температура у приміщенні, t_p , °С | 25 | 24 | 22 | 20 | 18 | 23 | 21 | 19 | 18 | 24 |
| Розміри приміщення $A \times B \times H$, м | 20x10x4 | | 18x12x5 | | 16x16x4 | | 12x12x6 | | 25x20x7 | |

8.4. Шліфувальна дільниця розташована в загальному виробничому приміщенні розміром $A \times B \times H$ м. На дільниці обробляються вироби з ДСП, оздобленні буковим шпоном з вологістю до 10%. Для обробки використовуються 10 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 $t_{\text{пов.}}^{\circ}\text{C}$.

Початкові дані, необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.5.

Таблиця 8.5

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|------|---------|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Продуктивність, 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 |
| Температура повітря, $t_{\text{пов.}}^{\circ}\text{C}$ | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |
| Розміри приміщення $A \times B \times H$, 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 встановлено циклон для відокремлення зернового пилу в системі вентиляції. Маса зернового пилу, що нагромаджується в циклоні, становить m , кг. Продуктивність циклона за пилом становить 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, необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.6.

Таблиця 8.6

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|----|---------|-----|---------|----|---------|----|---------|-----|
| Продуктивність циклона, q , хв^{-1} | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 75 | 85 | 95 | 105 | 115 |
| Маса зернового пилу, m , кг | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 12 | 17 | 22 | 27 | 32 |
| Час від'єднання циклона, τ , 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 $A \times B \times H$, м | 30x20x5 | | 25x25x6 | | 40x30x5 | | 35x25x6 | | 25x20x5 | |

8.6. Акумуляторне приміщення будинку зв'язку, що проектується, об'ємом V , 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 $t_{\text{пов.}} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Визначити категорію приміщення. Початкові дані, необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 8.7.

Таблиця 8.7

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Об'єм приміщення V , м^3 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
| 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 |
| Температура повітря, $t_{\text{пов.}} \text{ } ^\circ\text{C}$ | 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 $S \text{ м}^2$. Середні значення кількості вказаних матеріалів для одного вантажного автомобіля наведені в таблиці 8.8. Визначити категорію приміщення.

Таблиця 8.8

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Маса гуми, кг | 105 | 110 | 113 | 118 | 120 | 122 | 126 | 128 | 129 | 130 |
| 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 пінополіуретану, кг | 5,5 | 6,9 | 7,5 | 8,6 | 5,8 | 7,3 | 8,4 | 9,1 | 9,5 | 9,8 |
| Маса поліетилену, 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, S , м^2 | 8 | 20 | 35 | 50 | 60 | 15 | 25 | 40 | 45 | 65 |
| Кількість автомобілів, шт | 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. 8.9.

Таблиця 8.9

| № 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 від підлоги до перекриття, м | 7 | 8 | 9 | 10 | 7 | 8 | 9 | 10 | 7 | 8 |
| 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.8.10.

Таблиця 8.10

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Довжина, A , м | 24 | 20 | 16 | 12 | 25 | 20 | 15 | 10 | 18 | 27 |
| Ширина, B , м | 30 | 24 | 18 | 12 | 30 | 24 | 18 | 12 | 20 | 22 |
| Висота, 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 8.11.

Таблиця 8.11

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Площа ділянки, S , м ² | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Маса матеріалів, 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. 25. 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 8.12.

Таблиця 8.12

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------|-----------|----|---------|----|------------|----|--------|----|------------|----|
| Вид речовини | н-Бутанол | | Метанол | | н-Пропанол | | Толуол | | Етилбензол | |
| Кількість бочок, N | 5 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 8 | 5 | 8 |
| Маса горючих речовин, m , кг | 20 | 30 | 25 | 35 | 40 | 20 | 30 | 25 | 35 | 40 |
| Температура, t_p , °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 згорання горючого дисперсного матеріалу наведена в табл.25 додатків. Дані для розрахунку взяті з таблиці 8.13.

Таблиця 8.13

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------|--------------------|-----|-------------------|-----|-------------------------------|-----|------------|-----|--------------|-----|
| Довжина приміщення А, м | 30 | 40 | 35 | 45 | 50 | 60 | 55 | 65 | 30 | 40 |
| Ширина приміщення В, м | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Висота приміщення Н, м | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 |
| Вид порошкоподібного матеріалу | Барвник олійний 5С | | Барвник 9-78Ф п/е | | Барвник фталоціаноген 4 «З» М | | Поліетилен | | Поліпропілен | |
| Маса матеріалу m, кг | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 220 | 275 |

9. Методика визначення категорії будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною і пожежною небезпекою.

9.1. 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 категорії А, Б, В і Г перевищує 5 % об'єму будинку або протипожежного відсіку, тобто:

$$\sum V_{A, B, V, \Gamma} \geq 5\% \sum V_{\text{прим.}} \quad (9.5)$$

5. Будинок категорії Д

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії Д, якщо він не відноситься до категорії А, Б, В чи Г.

9.2. 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 розташовані 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 – $V_{\text{буд}} = F \cdot h = 9000 \cdot 4 = 36000 \text{ м}^3$. 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.8.2. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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 – $V_{\text{буд}} = F \cdot h = 32000 \cdot 4 = 128000 \text{ м}^3$. 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.8.2. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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.8.3. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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 $h=4 \text{ м}$. 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 – $V_{\text{буд}} = F \cdot h = 40000 \cdot 4 = 160000 \text{ м}^3$. 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.8.4. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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 $h=6 \text{ м}$. 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 – $V_{\text{буд}} = F \cdot h = 12000 \cdot 6 = 72000 \text{ м}^3$. 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.8.3. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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, $\sum V_{B,B} > 5\%$, то, згідно з п.8.4. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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 – $V_{\text{бвд}} = F \cdot h = 30000 \cdot 6 = 180000 \text{ м}^3$. 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.8.4. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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 – $V_{\text{бвд}} = F \cdot h = 25000 \cdot 3 = 75000 \text{ м}^3$.

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.8.4. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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, $\sum V_{B,G} > 5\%$, то, згідно з п.8.5. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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 п.8.4. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 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.

Оскільки, $\sum V_B > 5\%$, то, згідно з п.8.4. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, будинок належить до категорії В.

Відповідь. Виробничий будинок належить до категорії В.

Задача 9.8. Виробничий двоповерховий будинок.

Загальний об'єм приміщень становить 80000 м^3 . Об'єм приміщень категорій А і Б становить 3600 м^3 , об'єм приміщень категорії В – 16000 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 п.п. 8.2., 8.3. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:201 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.

Оскільки, $\sum V_B > 5\%$, то, згідно з п.8.4. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, будинок належить до категорії В.

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 п.8.2. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 [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 розташовані 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 – $V_{\text{бв}} = F \cdot h = 3500 \cdot 4 = 14000 \text{ м}^3$.

Перевіримо, чи належить будинок до категорії А.

Об'єм фарбувального відділення (категорія А) – $V_A = F_A \cdot h = 50 \cdot 4 = 200 \text{ м}^3$, що становить $1,4 \%$ від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum V_A < 5\%$, то, згідно з п.8.2. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, будинок не належить до категорії А.

Перевіряємо, чи належить будинок до категорії Б.

Об'єм шліфувального відділення (категорія Б) – $V_B = F_B \cdot h = 140 \cdot 4 = 560 \text{ м}^3$.

Сумарний об'єм приміщень категорій А і Б становить: $V_A + V_B = 200 + 560 = 760 \text{ м}^3$, що в

сумі становить 4,86 % від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum F_{A,B} < 5\%$, то, згідно з п.8.3. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, будинок не належить до категорії Б.

Перевіряємо, чи належить будинок до категорії В.

Об'єм складального відділення (категорія В) – $V_B = F_B \cdot h = 750 \cdot 4 = 3000 \text{ м}^3$.

Сумарний об'єм приміщень категорій А, Б і В становить: $V_A + V_B + V_B = 200 + 480 + 3000 = 3680 \text{ м}^3$, що в сумі становить 26,3 % від загального об'єму будинку. Оскільки, $\sum F_{A,B,B} > 5\%$, то, згідно з п.8.4. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, будинок належить до категорії В.

Відповідь. Виробничий будинок меблевого комбінату належить до категорії В.

9.3. Задачі для самостійного розв'язання

9.1. Станція для виробництва розчиненого ацетилену розташована в одноповерховому будинку розмірами в плані $A \times B \times H$ м. В будинку знаходяться такі приміщення: наповнювальне відділення (категорія А) площею S_1 , компресорне відділення (категорія А) S_2 , моторний цех (категорія В) – S_3 , цех ремонту балонів (категорія Г) – S_4 , складське приміщення (категорія В) – S_5 , побутові приміщення – решта. Визначити категорію виробничого будинку. Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Розміри виробничого будинку, $A \times B \times H$, м | 90x20x3 | 60x30x4 | 50x30x5 | 60x20x6 | 50x30x3 | 40x40x4 | 45x25x5 | 60x25x6 | 55x30x3 | 50x25x4 |
| Площа наповнювального відділення, S_1 , м^2 | 200 | 400 | 150 | 200 | 175 | 225 | 250 | 175 | 350 | 150 |
| Площа компресорного відділення, S_2 , м^2 | 250 | 300 | 200 | 150 | 250 | 250 | 350 | 225 | 250 | 150 |
| Площа моторного цеху, S_3 , м^2 | 500 | 650 | 550 | 400 | 500 | 650 | 650 | 500 | 450 | 350 |
| Площа цеху для ремонту балонів, S_4 , м^2 | 300 | 250 | 250 | 350 | 300 | 300 | 400 | 350 | 250 | 350 |
| Площа складського приміщення, S_5 , м^2 | 100 | 150 | 50 | 80 | 90 | 110 | 40 | 60 | 70 | 50 |

9.2. У деревообробному цеху заводу для ремонту і технічного обслуговування рухомого складу, який розташований у двоповерховому будинку загальною площею S_1 м², висота поверху – h м, знаходяться такі приміщення: відділення антисептування (категорія Б) площею S_2 м²; верстатне відділення із складом готової продукції (категорія В) площею S_3 м²; клейоприготувальне відділення (категорія А) площею S_3 м²; складальний цех (категорія В) площею S_4 м²; фарбувальне відділення (категорія А) площею S_5 м²; матеріальний склад (категорія В) площею S_6 м²; 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 , м ² | 3200 | | 3500 | | 3000 | | 3600 | | 2800 | |
| Висота кожного поверху, м | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 |
| Площа відділення антисептування S_1 , м ² | 500 | 550 | 600 | 650 | 400 | 725 | 750 | 775 | 300 | 350 |
| Площа верстатного відділення (S_2), м ² | 900 | 950 | 1100 | 1200 | 800 | 950 | 1250 | 910 | 800 | 760 |
| Площа клейоприготувального відділення (S_3), м ² | 350 | 250 | 380 | 320 | 350 | 330 | 340 | 360 | 380 | 400 |
| Площа складального цеху (S_4), м ² | 800 | 950 | 600 | 650 | 780 | 600 | 650 | 850 | 750 | 650 |
| Площа фарбувального відділення (S_5), м ² | 450 | 350 | 350 | 400 | 350 | 380 | 450 | 300 | 350 | 340 |
| Площа матеріального складу (S_6), м ² | 300 | 500 | 400 | 450 | 350 | 380 | 550 | 200 | 250 | 400 |

Задача 9.3. Виробничий багатоповерховий будинок. Площа одного поверху будинку S , висота поверху h м. Площа приміщень категорії А становить S_A , м², категорії Б – S_B , м², категорії В – S_V , м², категорії Г – S_G , м², категорії Д – S_D , м², 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, n | 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, S , м ² | 3000 | | 1000 | | 800 | | 2000 | | 700 | |
| Площа приміщень категорії А, S_A , м ² | 550 | 850 | 600 | 650 | 400 | 725 | 750 | 975 | 300 | 350 |
| Площа приміщень категорії Б, S_B , м ² | 600 | 950 | 910 | 1200 | 800 | 950 | 925 | 1100 | 800 | 260 |
| Площа приміщень категорії В, S_B , м ² | 350 | 750 | 380 | 320 | 350 | 330 | 440 | 1460 | 380 | 400 |
| Площа приміщень категорії Г, (S_G) , м ² | 800 | 1200 | 600 | 650 | 780 | 600 | 650 | 970 | 750 | 650 |
| Площа приміщень категорії Д (S_D) , м ² | 450 | 950 | 350 | 400 | 670 | 380 | 450 | 860 | 350 | 340 |

10. Методика визначення категорій зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою.

10.1. Основні теоретичні положення

Зовнішня установка – це установка, апарати і устаткування якої розміщені ззовні будинку на одному технологічному майданчику і пов'язані між собою єдиним технологічним процесом виробництва, транспортування та переробки продукції (наприклад, для аварійного зливання турбінного масла з турбогенераторів машинного залу енергопідприємств, для підготовки нафти до переробки (електрознесолювальна установка) на підприємствах нафтопереробної та нафтохімічної промисловості тощо).

За вибухопожежною та пожежною безпекою зовнішні установки поділяють на категорії А_з, Б_з, В_з, Г_з та Д_з.

Категорії зовнішніх установок за пожежною безпекою приймають за таблицею 10.1

Таблиця 10.1

Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною безпекою

| Категорія зовнішньої установки | Критерії віднесення зовнішньої установки до тієї або іншої категорії за пожежною безпекою |
|---|--|
| 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 газо-пароповітряні 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. |

| | |
|--|---|
| В₃ пожежо- небез- печна | Установа відноситься до категорії В ₃ , 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 ₃ , або Б ₃ . Інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 4 кВт·м ⁻² . |
| Г₃ помірно- пожежо- небез- печна | Установа відноситься до категорії Г ₃ , 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 |
| Д₃ знижено- пожежо- небез- печна | Установа відноситься до категорії Д ₃ , якщо вона не відноситься до категорій А ₃ , Б ₃ , В ₃ , Г ₃ . |

Визначення категорій зовнішніх установок слід здійснювати шляхом послідовної перевірки їх належності до категорій, які наведені у таблиці 10.1 від вищої (А₃) до нижчої (Д₃). 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 ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 [4].

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:

$$\Delta P = P_o \cdot (0,8 \cdot m_{\Gamma\Gamma}^{0,33} / r + 3 \cdot m_{\Gamma\Gamma}^{0,66} / r^2 + 5 \cdot m_{\Gamma\Gamma} / r^3) \quad (10.9)$$

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:

$$m_{\Gamma\Gamma} = (H_n / H_o) \cdot m \cdot Z \quad (10.10)$$

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:

$$i = 123 \cdot \frac{m_{\text{пр}}^{0,66}}{r}, \quad (10.12)$$

де r – відстань від центра пилоповітряної хмари, м;

$m_{\text{пр}}$ – 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 ($C > C_{\text{сер}}$), 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, [кг·м⁻²·с⁻¹];

ρ_n – густина навколишнього повітря, [кг·м⁻³];

$g=9,81$ м·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", [м];

D_s – ефективний діаметр "вогняної кулі", [м];

r – відстань від об'єкта, що опромінюється, до точки на поверхні землі безпосередньо під центром "вогненної кулі", [м].

15. Ефективний діаметр "вогняної кулі" D_s , [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.

10.2. 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.10.1.3.2. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 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:

$$m = V_{\text{об}} \cdot \rho_z = (V_a + V_{mp}) \cdot \rho_z$$

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:

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_p \cdot r^2 \cdot (L_1 + L_2) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 707 \cdot 0,04^2 \cdot (5+3) = 0,284 \text{ м}^3,$$

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} = 0,6 + 0,284 = 0,884 \text{ м}^3.$$

Густина 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_{HKMP} , [м], який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу займання C_{HKMP} , обчислюємо за формулою:

$$R_{HKMP} = 14,5632 \cdot \left(\frac{m_z}{\rho_z \cdot C_{HKMP}} \right)^{0,333} = 14,5632 \cdot \left(\frac{91,5}{0,643 \cdot 5,28} \right)^{0,333} = 43,6 \text{ м}.$$

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.10.1.3.2. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 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:

$$m = W \cdot F_6 \cdot \tau_{вин}.$$

Об'єм бензолу, що знаходиться у резервуарі і вилетіть у результаті аварії на технологічний майданчик установки, становить:

$$V_6 = V_a \cdot \varepsilon = 3 \cdot 0,85 = 2,55 \text{ м}^3 = 2550 \text{ л}.$$

Згідно з п.10.1.1.2 (г) ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016, 1 л рідини розливається на площі 0,15 м². Площа розливу (випаровування) становить:

$$F_6 = 2550 \cdot 0,15 = 382,5 \text{ м}^2.$$

Тиск насиченої пари визначаємо за формулою:

$$P_H = 10^{\frac{A - \frac{B}{C_a + t_p}}{}} = 10^{\frac{5,6131 - \frac{902,275}{178,099 + 25}}{}} = 15,04 \text{ кПа}$$

Інтенсивність випаровування визначимо за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot \sqrt{78,11} \cdot 15,04 = 1,329 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Тривалість випаровування вважатимемо рівною 3600 с.

Масу пари бензолу, що утворилася під час його випаровування обчислюємо за формулою:

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_{\text{вип}} = 1,329 \cdot 10^{-4} \cdot 382,5 \cdot 3600 = 183 \text{ кг}.$$

Приведену масу пари бензолу обчислюємо за формулою:

$$m_{np} = \left(\frac{H_T}{H_0} \right) \cdot m \cdot Z_1 = \frac{40576}{4520} \cdot 183 \cdot 0,1 = 164,286 \text{ кг}$$

Величину розрахункового надлишкового тиску на відстані 30 м від установки обчислюємо за формулою:

$$\Delta P = 101 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot 164,286^{0,33}}{30} + \frac{3 \cdot 164,286^{0,66}}{30^2} + \frac{5 \cdot 164,2869}{30^3} \right) = 27,34 \text{ кПа}.$$

Густина 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 ($C_{НКМП}$), не нагрітої вище температури навколишнього середовища, обчислюємо за формулою:

$$\begin{aligned} R_{НКМП} &= 3,1501 \cdot \sqrt{K_g} \left(\frac{P_H}{C_{НКМП}} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{m}{\rho_n \cdot P_H} \right)^{0,333} = \\ &= 3,1501 \cdot 1 \cdot \left(\frac{15,04}{1,43} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{183}{3,166 \cdot 15,04} \right)^{0,333} = 33,4 \text{ м} \end{aligned}$$

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 4х5 м. 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.10.1.3.2. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 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:

$$m = W \cdot F_g \cdot \tau_{вин} = 91,26 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 3600 = 6,57 \text{ кг}$$

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:

$$\begin{aligned} R_{HKMP} &= 3,1501 \cdot \sqrt{K_6} \left(\frac{P_H}{C_{HKMP}} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{m}{\rho_n \cdot P_H} \right)^{0,333} = \\ &= 3,1501 \cdot \sqrt{\frac{3600}{3600}} \cdot \left(\frac{15,04}{3,6} \right)^{0,813} \cdot \left(\frac{6,57}{1,82 \cdot 13,46} \right)^{0,333} = 5,9 \text{ м} \end{aligned}$$

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 A_3 .

Задача 10.4. Визначити, до якої категорії відноситься зовнішня установка – циклон для збору борошна об'ємом 5 м^3 .

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.10.1.3.2. ДСТУ Б В. 1. 1 – 36:2016 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 Бз.

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, $[кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}]$; $M_v = 0,06 кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$; ρ_n – густина навколишнього повітря, $[кг \cdot м^{-3}]$; $\rho_n = 1,2 кг \cdot м^{-3}$; $g=9,81 м \cdot с^{-2}$ – 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:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left(\frac{\sqrt{S-1}}{\sqrt{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right] = \\ &= \frac{1}{3,14} \left[\frac{1}{4,1} \cdot \arctg \left(\frac{2,72}{\sqrt{4,1^2 - 1}} \right) - \frac{2,72}{4,1} \cdot \left\{ \arctg \left(\frac{\sqrt{4,1-1}}{\sqrt{4,1+1}} \right) - \frac{3,08}{\sqrt{3,08^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(3,08+1)(4,1-1)}{(3,08-1)(4,1+1)}} \right) \right\} \right] = \\ &= 0,00126 ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_z &= \frac{1}{\pi} \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right] = \\ &= \frac{1}{3,14} \left[\frac{(2,17-1/4,1)}{\sqrt{2,17^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(2,17+1)(4,1-1)}{(2,17-1)(4,1+1)}} \right) - \frac{(3,08-1/4,1)}{\sqrt{3,08^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\sqrt{\frac{(3,08+1)(4,1-1)}{(3,08-1)(4,1+1)}} \right) \right] = \\ &= 0,03236 ; \end{aligned}$$

$$\text{де: } A = (h^2 + S^2 + 1)/(2 \cdot S) = (2,72^2 + 4,1^2 + 1)/(2 \cdot 4,1) = 3,08 ;$$

$$B = (1 + S^2)/(2 \cdot S) = (1 + 4,1^2)/(2 \cdot 4,1) = 2,17 ;$$

$$S = 2 \cdot r / d = 2 \cdot 40 / 19,5 = 4,1 ;$$

де: r – відстань від геометричного центра розливу до об'єкта, що опромінюється, $r=40$ м.

$$h = 2 \cdot H / d = 2 \cdot 26,5 / 19,5 = 2,72$$

Визначаємо коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу за формулою:

$$\begin{aligned} \tau &= \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)] = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (40 - 0,5 \cdot 19,5)] = \\ &= 0,979 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} F_q &= \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot [(H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2]^{1,5}} = \\ &= \frac{156 / 312 + 0,5}{4 \cdot [(156 / 312 + 0,5)^2 + (500 / 312)^2]^{1,5}} = 0,037, \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} \tau &= \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2)\right] = \\ &= \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{500^2 + 156^2} - 312 / 2)\right] = 0,77 \end{aligned}$$

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, $E_f = 450 \text{ кВт/м}^2$;

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 $q = 12,9 \text{ кВт/м}^2$; 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:

$$m_{np} = (Q_{зг} / Q_o) \cdot m \cdot Z = (4,6 \cdot 10^7 / 4,52 \cdot 10^6) \cdot 254400 \cdot 0,1 = 2,59 \cdot 10^5 \text{ кг}$$

де: $Q_{зг}$ – питома теплота згоряння пропану, $Q_{зг} = 4,7 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$; Z – коефіцієнт участі горючих газів і парів у горінні, який допускається приймати рівним 0,1; Q_o – константа, рівна $4,52 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$; 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 згоряння пропаноповітряних сумішей, обчислюємо за формулою:

$$\Delta P = P_o \cdot \left(0,8 \cdot m_{np}^{0,33} / r + 3 \cdot m_{np}^{0,66} / r^2 + 5 \cdot m_{np} / r^3 \right) = 101 \cdot \left(0,8 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,33} / 500 + 3 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500^2 + 5 \cdot (2,59 \cdot 10^5) / 500^3 \right) = 16,2 \text{ кПа}$$

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 $i = 1000 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

10.3. 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 засувок – τ .

Початкові дані, які необхідні для розрахунку, наведені в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Тиск в трубопроводі, P_p , МПа | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 |
| Температура, t_p , °С | 25 | 22 | 20 | 18 | 24 | 21 | 19 | 16 | 23 | 17 |
| Внутрішній діаметр трубопроводів, d , м | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| Довжина вхідного трубопровода, l_1 , м | 5 | 4 | 3 | 2 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 6 |
| Довжина вихідного трубопровода, 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 засувок – τ . Температура горючої речовини – $t_{рід}$.

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 |
|--|--------|--------|-----------|----------|---------|------------|--------|--------|--------|--------|
| 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, $t_{\text{рід}}$, °С | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |
| Тривалість перекивання 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 u вогнищі пожежі. Розміри резервуарів: довжина резервуара l м, діаметр резервуара d м. Густина рідкої фази 610 кг/м^3 ; ступінь заповнення резервуара – ε .

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 |
|--|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 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 10.5.

Таблиця 10.5

| № 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 | 6,25 | 5,0 | 2,5 | 1,67 |

Розділ IV. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

11. Методика проведення ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки

11.1. Основні теоретичні положення

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів від 13.09.2022 р. №1030 «Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки» здійснюється віднесення об'єктів, на яких розміщені установки, сховища (резервуари, посудини), трубопроводи, машини, агрегати, технологічне устаткування (обладнання), споруди або комплекс споруд, що розташовані в межах об'єкта на поверхні землі або під землею, в яких тимчасово або постійно використовується, переробляється, виготовляється, транспортується, зберігається одна або кілька небезпечних речовин, до об'єктів підвищеної небезпеки відповідного класу.

Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки проводиться юридичними або фізичними особами – підприємцями стосовно об'єктів, які перебувають у їх власності або користуванні. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки стосовно об'єктів, які проєктуються, проводиться замовниками будівництва. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки стосовно об'єктів, інформація про які є державною таємницею, проводиться з дотриманням вимог відповідних нормативно-правових актів.

Ідентифікація об'єкта підвищеної небезпеки проводиться трьома етапами.

На першому етапі складається перелік небезпечних речовин за індивідуальними назвами, класами небезпечних речовин та категоріями небезпеки, наведеними відповідно в додатку (таблиці 36.1 і 36.2), які розміщені або можуть розміщатися у виробничих одиницях на об'єкті згідно з проєктною та технічною документацією.

У разі коли небезпечні речовини мають властивості, що дають змогу віднести їх до кількох класів небезпечних речовин або категорій небезпеки, для цілей ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки застосовується найменша порогова маса небезпечних речовин.

Суміші відповідно до їх властивостей розглядаються так само, як чисті речовини.

На другому етапі складається перелік виробничих одиниць, які містять небезпечні речовини.

На третьому етапі визначається маса небезпечної речовини в кожній окремій виробничій одиниці та проводиться розрахунок загальної маси небезпечних речовин окремо для кожної індивідуальної назви небезпечної речовини згідно з таблицею 36.1 додатка. У разі відсутності назви наявної небезпечної речовини в зазначеній таблиці проводиться розрахунок загальної маси небезпечних речовин відповідного класу небезпечної речовини (категорії небезпеки), визначеного згідно з таблицею 36.2 додатка.

Загальна маса небезпечної речовини визначається таким чином:

1) для сховищ (резервуарів) – сумарна маса небезпечної речовини, що може в них розміщатися за максимально допустимого завантаження відповідно до

проектної або технічної документації, з урахуванням вимог нормативно-правових актів;

2) для технологічних установок – сумарна маса, що може розміщатися в апаратах і трубопроводах відповідно до проектною або технічною документації;

3) для обладнання колонного типу – сумарна маса небезпечної речовини за максимального рівня рідини на тарілках. Для апаратів, у яких застосовуються наповнювачі з пористим інертним середовищем, сумарна маса небезпечної речовини визначається з урахуванням максимального обсягу вільного простору;

4) для лінійної частини магістральних нафтопровідних, нафтопродуктопровідних та інших трубопровідних систем для транспортування рідких небезпечних речовин – сумарна маса небезпечної речовини, що міститься в лінійній частині трубопроводу між двома запірними пристроями, і сумарна маса, що може виділитися протягом часу, встановленого для виявлення витoku речовини та здійснення перекриття запірних пристроїв, згідно з проектною документацією, а для внутрішньооб'єктових трубопроводів – сумарна маса небезпечної речовини в усьому трубопроводі.

Для розрахунку сумарної маси нафти, нафтопродуктів та інших небезпечних речовин використовуються параметри проектного режиму експлуатації магістральних трубопроводів і технологічного обладнання та проектна ємність резервуарних парків;

5) для лінійної частини магістральних газопроводів – сумарна маса небезпечної речовини, що міститься в ділянці газопроводу між лінійною запірною арматурою, включаючи резервні нитки, технологічні перемички і відгалуження, та сумарна маса, що може виділитися протягом розрахункового часу, необхідного для виявлення витoku речовини та здійснення ручного перекриття лінійної запірної арматури згідно з технологічним регламентом та проектною документацією.

Сумарна маса газу визначається з урахуванням проектних значень робочого тиску газу на ділянках магістральних газопроводів та в технологічному обладнанні;

6) для систем постачання природного газу до населених пунктів та адміністративних районів – сумарна маса природного газу, що міститься в системі за умови дотримання проектного значення тиску, яка встановлюється шляхом визначення суми:

- маси газу, що міститься в газопроводах високого тиску I і II категорії всіх діаметрів, з урахуванням маси газу, що може виділитися із системи протягом розрахункового часу, необхідного для локалізації аварії;
- маси газу, що міститься в газопроводах середнього тиску всіх діаметрів, ураховуючи масу газу, що може виділитися із системи протягом розрахункового часу, необхідного для локалізації аварії.

Розрахунковий час виявлення витoku речовини та перекривання трубопроводів визначається в кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, і повинен бути мінімальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої, характеру технологічного процесу та виду розрахункової аварії.

Під час проведення розрахунків маса газу, що міститься у дворових вводах, не враховується;

7) для міжцехових, внутрішньоцехових, внутрішньоскладських трубопроводів – сумарна маса небезпечної речовини в усьому трубопроводі;

8) для операцій зливу-наливу – додатково враховується сумарна маса небезпечної речовини в залізничних або автомобільних цистернах, у вантажних танках суден під час проведення технологічних операцій. Для проведення таких розрахунків використовуються значення проєктної ємності та проєктної кількості цистерн або танків, які можуть установлюватися на естакаді або причалі одночасно.

У разі коли на об'єкті загальна маса небезпечних речовин дорівнює або перевищує порогову масу небезпечної речовини за індивідуальною назвою чи відповідним класом небезпечної речовини (категорією безпеки), такий об'єкт належить до об'єкта підвищеної безпеки відповідного класу.

У разі коли на об'єкті відсутні певні небезпечні речовини із загальною масою, що перевищує або дорівнює відповідній пороговій масі, з метою вирішення питання про віднесення об'єкта до об'єкта підвищеної безпеки необхідно застосовувати такі формули:

1) об'єкт є об'єктом підвищеної безпеки 1 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{1i}} \geq 1$$

де q_i – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією безпеки) відповідно до таблиці 36.1 або 36.2 додатка;

Q_{1i} – порогова маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією безпеки) для об'єкта підвищеної безпеки 1 класу, визначена в таблиці 36.1 або 36.2 додатка;

2) об'єкт є об'єктом підвищеної безпеки 2 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{2i}} \geq 1$$

де q_i – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією безпеки) відповідно до таблиці 36.1 або 36.2 додатка;

Q_{2i} – порогова маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією безпеки) для об'єкта підвищеної безпеки 2 класу, визначена в таблиці 36.1 або 36.2 додатка;

3) об'єкт є об'єктом підвищеної безпеки 3 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{3i}} \geq 1$$

де q_i – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією безпеки) відповідно до таблиці 36.1 або 36.2 додатка;

Q_{3i} – порогова маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією небезпеки) для об'єкта підвищеної небезпеки 3 класу визначена в таблиці 36.1 або 36.2 додатка.

Визначена за наведеними формулами розрахункова сума всіх небезпечних речовин, що розміщені на об'єкті, зазначається з точністю до другого знака після коми.

Вказані формули з метою оцінювання впливу небезпеки від небезпечних речовин на здоров'я людини, об'єкти інфраструктури (фізична небезпека) та навколишнє природне середовище застосовуються окремо для кожного виду загроз, а саме:

1) для впливу на організм і здоров'я людини розраховується загальна маса небезпечних речовин, наведених у секції “Н” (“Загроза для здоров'я людини”) таблиці 36.2 додатка;

2) для впливу на об'єкти інфраструктури розраховується загальна маса небезпечних речовин, наведених у секції “Р” (“Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури”) таблиці 36.2 додатка;

3) для впливу на навколишнє природне середовище розраховується загальна маса небезпечних речовин, наведених у секції “Е” (“Загрози для навколишнього природного середовища”) таблиці 36.2 додатка.

При цьому використовується найменша порогова маса.

У разі коли небезпечна речовина зазначена в таблицях 36.1 і 36.2 додатка, у розрахунках відповідно використовуються порогові маси небезпечних речовин за індивідуальними назвами, зазначені у таблиці 36.1 додатка.

Інформація, визначена на кожному з трьох етапів ідентифікації, вноситься до Реєстру з метою автоматизованого проведення ідентифікації, формування повідомлення за формою ОПН-1 та його надсилання до ДСНС або її територіального органу за місцезнаходженням об'єкта з метою перевірки повноти наведеної інформації та прийняття рішення про віднесення об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки відповідного класу.

До введення в дію Реєстру за результатами ідентифікації складається повідомлення за формою ОПН-1, яке подається до ДСНС або її територіального органу за місцезнаходженням об'єкта з метою перевірки наведеної інформації та прийняття рішення про віднесення об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки відповідного класу.

Розрахунки, які проводяться під час ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки, оформляються у вигляді розрахунково-пояснювальної записки, яка додається до повідомлення за формою ОПН-1 та враховується під час перевірки повноти наведеної в ньому інформації.

ДСНС або її територіальний орган протягом 20 робочих днів після отримання від суб'єкта господарювання повідомлення про результати ідентифікації приймає рішення про віднесення (невіднесення) об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки відповідного класу або виключення його з Реєстру, про що інформує суб'єкта господарювання, відповідну місцеву держадміністрацію, орган місцевого самоврядування та органи державного нагляду (контролю), що здійснюють

державний нагляд (контроль) у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки.

У разі надання суб'єктом господарювання неповної або неточної інформації про результати ідентифікації ДСНС або її територіальний орган протягом 10 робочих днів після виявлення такого факту письмово повідомляє про це суб'єкту господарювання, який опрацьовує відповідну інформацію та подає відкориговане повідомлення за формою ОПН-1 для розгляду в установленому порядку.

Ідентифікація об'єкта підвищеної небезпеки вважається завершеною після письмового (електронного) повідомлення ДСНС або її територіальним органом суб'єкту господарювання про віднесення такого об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки відповідного класу або підтвердження того, що об'єкт не віднесено до об'єктів підвищеної небезпеки.

Порядок надання інформації про об'єкти підвищеної небезпеки, які належать до сфери управління Міноборони, для включення до Реєстру або виключення з нього встановлюється Міноборони за погодженням із ДСНС.

Для об'єктів, які проектуються, ідентифікацію об'єкта підвищеної небезпеки повинно бути проведено до затвердження проєктної документації.

Місцеві держадміністрації, органи місцевого самоврядування, на території здійснення повноважень яких розміщені ідентифіковані об'єкти підвищеної небезпеки, з урахуванням інформації, що міститься в Реєстрі, розміщують на власних офіційних веб-сайтах протягом 30 днів після отримання інформації від ДСНС або її територіального органу про включення об'єкта підвищеної небезпеки до Реєстру такі відомості про об'єкт підвищеної небезпеки:

- юридична адреса оператора;
- повне та скорочене найменування об'єкта підвищеної небезпеки;
- фактична адреса об'єкта підвищеної небезпеки;
- клас об'єкта підвищеної небезпеки.

Оператор протягом 60 календарних днів повторно проводить ідентифікацію відповідно до вимог цього Порядку в разі:

- зміни форми власності або організаційно-правової форми оператора;
- зміни технічних характеристик об'єкта підвищеної небезпеки, пов'язаних із змінами кількості та/або номенклатури небезпечних речовин;
- зміни найменування суб'єкта господарювання, який експлуатує об'єкт підвищеної небезпеки;
- внесення змін до чинних або прийняття нових нормативно-правових актів у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки, у разі, коли це стосується порядку проведення ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки або впливає на її результати.

Виключення об'єкта підвищеної небезпеки з Реєстру здійснюється за рішенням ДСНС або її територіального органу на підставі розгляду наданих оператором матеріалів повторної ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки, за результатами якої об'єкт не віднесений до об'єктів підвищеної небезпеки відповідного класу, та представлення документів, які підтверджують:

- зміну технічних характеристик або кількості джерел небезпеки у разі, коли на об'єкті підвищеної небезпеки зменшена сумарна маса небезпечних речовин порівняно з нормативом порогової маси за індивідуальною масою або класом небезпечної речовини, внаслідок чого об'єкт не належить до будь-якого класу об'єктів підвищеної небезпеки;
- ліквідацію або виведення з експлуатації (списання з балансу) об'єкта підвищеної небезпеки.

Виключення об'єкта підвищеної небезпеки з Реєстру ДСНС або її територіальним органом здійснюється також за результатами заходів державного нагляду (контролю) у разі виявлення факту ліквідації об'єкта підвищеної небезпеки або у разі наявності в Єдиному державному реєстрі юридичних осіб, фізичних осіб - підприємців та громадських формувань інформації про припинення оператором господарської діяльності.

Про прийняте рішення щодо виключення об'єкта з Реєстру ДСНС або її територіальний орган повідомляє суб'єкту господарювання, місцевим держадміністраціям, органам місцевого самоврядування та органам державного нагляду (контролю), що здійснюють державний нагляд (контроль) у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки, письмово протягом 20 робочих днів після одержання матеріалів повторної ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки та відповідних документів від оператора (одержання інформації за результатами заходів державного нагляду (контролю)). У разі відмови щодо виключення об'єкта підвищеної небезпеки з Реєстру ДСНС або її територіальний орган надає оператору обґрунтовані мотиви для такої відмови.

Результати ідентифікації та розрахунки, на підставі яких вони проводилися, зберігаються оператором протягом усього часу експлуатації об'єкта підвищеної небезпеки, а в разі відчуження об'єкта, зміни форми власності або організаційно-правової форми оператора передаються суб'єкту господарювання - правонаступнику.

Суб'єкт господарювання несе відповідальність згідно із законодавством за своєчасне, повне і достовірне проведення ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки.

11.2. Приклади розв'язання задач

Задача 11.1. На підприємстві для виробництва хлору знаходяться 5 хлорних танків ємністю 5000 м³, 30 контейнерів місткістю 1000 л, 10 балонів місткістю 40 л. Густина хлору 3,214 кг/м³. Визначити до якого класу ОПН належить даний об'єкт.

Розв'язок

- 1) Визначаємо вид небезпечної речовини за індивідуальною назвою, згідно з додатком (таблиця 36.1, п.10) : хлор.
- 2) Обчислюємо масу (q, тонн) небезпечної речовини за індивідуальною назвою з урахуванням її густини, яка становитиме:

$$q = (V_1 \cdot n_1 + V_2 \cdot n_2 + V_3 \cdot n_3) \cdot \rho$$

де V_1 – об'єм хлорного танка (5000 м^3), n_1 – кількість танків (5 шт.), V_2 – об'єм контейнера (1 м^3), n_2 – кількість контейнерів (30 шт.), V_3 – об'єм балона ($0,04 \text{ м}^3$), n_3 – кількість балонів (10 шт.), ρ – середня густина хлору ($3,214 \text{ кг/м}^3$).

$$q = (5000 \cdot 5 + 1 \cdot 30 + 0,04 \cdot 10) \cdot 3,214 = 80448 \text{ кг} = 80,448 \text{ т}$$

- 3) Знаходимо порогові маси небезпечної речовини за індивідуальною назвою (п.10. Хлор) з додатку 36.1, які для ОПН 1 класу становитимуть $Q_1 = 25 \text{ т}$, для ОПН 2 класу – $Q_2 = 10 \text{ т}$, для ОПН 3 класу – $Q_3 = 4 \text{ т}$.

- 4) Підприємство є об'єктом підвищеної небезпеки 1 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{1i}} \geq 1$$

де q_i – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою відповідно до таблиці 36.1;

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{1i}} = \sum_{i=1}^n \frac{80,448}{25,0} = 3,2 > 1$$

На підприємстві для виробництва хлору знаходяться $80,448 \text{ т}$ хлору, що перевищує порогову масу 1 класу ОПН.

Відповідь. Підприємство для виробництва хлору належить до об'єктів підвищеної небезпеки 1 класу.

Задача 11.2. На АЗС знаходиться 5 підземних резервуарів, місткість кожного з них 75 м^3 . У резервуарах знаходиться різне паливо: бензин марок А-76, А-80, А-92, А-95 та дизельне паливо. Ступінь заповнення резервуарів не більше ніж 90%.

Визначити до якого класу ОПН належить даний об'єкт.

Розв'язок

- 1) Перелік небезпечних речовин за індивідуальними назвами, наведеними в додатку (таблиця 36.1, п.34) : бензин марок А-76, А-80, А-92, А-95 та дизельне паливо.
- 2) Обчислюємо масу (q , тонн) небезпечних речовин за індивідуальними назвами, яка з урахуванням їх густини, ступеня заповнення резервуарів, становитиме:

$$q = V_1 \cdot \rho_1 \cdot k_1 + V_2 \cdot \rho_2 \cdot k_2,$$

де V_1, V_2 – об'єм резервуарів (75 м^3), ρ_1 – середня густина бензину ($0,78 \text{ т/м}^3$) і ρ_2 – середня густина дизельного палива ($0,86 \text{ т/м}^3$), k_1, k_2 – ступінь заповнення резервуарів (0,9).

$$q = 4 \cdot (75 \cdot 0,78 \cdot 0,9) + 1 \cdot (75 \cdot 0,86 \cdot 0,9) = 268,7 \text{ т}.$$

- 3) Знаходимо порогові маси небезпечних речовин за індивідуальними назвами (п.34. Нафтопродукти та альтернативні види палива) згідно з додатком 36.1, які для ОПН 1 класу становитимуть $Q_1 = 25000 \text{ т}$, для ОПН 2 класу – $Q_2 = 2500 \text{ т}$, для ОПН 3 класу – $Q_3 = 250 \text{ т}$.

- 4) Об'єкт є об'єктом підвищеної небезпеки 3 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{3i}} \geq 1$$

де q_i – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою відповідно до таблиці 36.1;

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{3i}} = \sum_{i=1}^n \frac{268,7}{250,0} = 1,07 > 1$$

На АЗС знаходиться 268,7 т нафтопродуктів, що перевищує порогову масу 3 класу ОПН.

Відповідь. АЗС належить до об'єктів підвищеної небезпеки 3 класу.

Задача 11.3. На нафтопереробному підприємстві знаходиться ректифікаційна колона для перегонки нафти. У ректифікаційній колоні розташовані 50 штук тарілок, діаметр тарілки 1,1 м, висота шару рідкої фази на тарілці – 40 см, середня густина рідкої фази 810 кг/м³, маса парової фази – 2 тонни. Визначити до якого класу ОПН належить даний об'єкт.

Розв'язок

1) Визначаємо перелік небезпечних речовин за індивідуальними назвами, наведеними в додатку (таблиця 36.1, п.34) : нафта та продукти її перегонки.

2) Обчислюємо масу (q , тонн) небезпечних речовин за індивідуальними назвами з урахуванням їх густини, ступеня заповнення резервуарів, становитиме:

$$q = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho + m = 50 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,1^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 0,81 + 2 = 17,4 \text{ т}$$

де n – кількість тарілок (50 шт.), ρ – густина нафти (0,81 т/м³), h – висота шару рідкої фази на тарілці (0,4 м), d – діаметр тарілки (1,1 м), m – маса парової фази (2,0 т).

3) Знаходимо порогові маси небезпечних речовин за індивідуальними назвами (п.34. Нафтопродукти та альтернативні види палива) згідно з додатком 36.1, які для ОПН 1 класу становитимуть $Q_1 = 25000$ т, для ОПН 2 класу – $Q_2 = 2500$ т, для ОПН 3 класу – $Q_3 = 250$ т.

5) Підприємство є об'єктом підвищеної небезпеки 3 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{3i}} \geq 1$$

де q_i – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою відповідно до таблиці 36.1;

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{3i}} = \sum_{i=1}^n \frac{17,4}{250,0} = 0,07 < 1$$

У ректифікаційній колоні знаходиться 17,4 т речовин, що не перевищує порогову масу 3 класу ОПН.

Відповідь. Ректифікаційна колона не належить до об'єктів підвищеної небезпеки.

Задача 11.4. Характеристика магістрального газопроводу з природним газом: відстань між засувками 30 км, діаметр трубопроводу 1,4 м; продуктивність 400 м³/с, тривалість перекривання засувок 30 с, густина газу 0,9 кг/м³. Визначити до якого класу ОПН належить даний об'єкт.

Розв'язок

- 1) Перелік небезпечних речовин за класами небезпечних речовин та категоріями небезпеки, наведеними в додатку (таблиця 36.2, секція «Р» Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури): займисті гази.
- 2) Маса (q , тонн) займистих газів на ділянці трубопроводу між засувками з урахуванням надходження газу з продуктивністю впродовж часу до перекриття засувок становитиме:

$$q = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L + q \cdot \tau \right) \cdot \rho = \left(\frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 30000 + 400 \cdot 30 \right) \cdot 0,9 = 52342 \text{ кг} = 52,342 \text{ т}$$

де q – продуктивність (400 м³/с), ρ – густина газу (0,9 кг/м³), L – відстань між засувками (30 км), d – діаметр трубопроводу (1,4 м), τ – тривалість перекривання засувок (30 с).

- 3) Знаходимо порогові маси небезпечних речовин за класами небезпечних речовин та категоріями небезпеки, наведеними в додатку (таблиця 36.2, секція «Р» Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури) займисті гази, які для ОПН 1 класу становитимуть $Q_1 = 50$ т, для ОПН 2 класу – $Q_2 = 10$ т, для ОПН 3 класу – $Q_3 = 2$ т.
- 4) Об'єкт є об'єктом підвищеної небезпеки 1 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{1i}} \geq 1$$

де q_i – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою відповідно до таблиці 36.2;

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{1i}} = \sum_{i=1}^n \frac{52,342}{50,00} = 1,05 > 1$$

На ділянці магістрального газопроводу знаходиться 52,342 т природного газу, що перевищує порогову масу 1 класу ОПН.

Відповідь. Магістральний газопровід належить до об'єктів підвищеної небезпеки 1 класу.

11.3. Задачі для самостійного розв'язання

11.1. Встановити до якого класу об'єктів підвищеної небезпеки належить жиркомбінат. Характеристика обладнання жиркомбінату, у якому знаходяться небезпечні хімічні речовини, наведено в таблиці 11.1.

Таблиця 11.1

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|------------------------------------|-----------------------|--------|-----|------|------|--------|------|--------|-----|------|-----|
| Аміачно-холодильна установка, тонн | 2 | 8 | 10 | 5 | 6 | 4 | 3 | 11 | 6 | 7 | |
| Газгольдер для водню, тонн | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 10 | |
| Резервуари | об'єм, м ³ | 75 | 60 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 |
| | ступінь наповнення | 0,65 | 0,8 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 |
| | кількість | 2 | 4 | 4 | 5 | 4 | 6 | 5 | 6 | 4 | 5 |
| | вид рідини | бензин | ДП | олія | ДП | бензин | олія | бензин | ДП | олія | ДП |

11.2. Встановити до якого класу об'єктів підвищеної небезпеки належить склад добрив і отрутохімікатів. Характеристику складу наведено в таблиці 11.2.

Таблиця 11.2

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|--------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Склад аміачної селітри, тонн | 200 | 800 | 100 | 300 | 500 | 600 | 400 | 700 | 500 | 300 | |
| Склад формальдегіду | об'єм бочки, м ³ | 75 | 60 | 50 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 |
| | ступінь наповнення | 0,65 | 0,8 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 |
| | кількість бочок, шт. | 12 | 14 | 16 | 15 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 10 |
| Трубопроводи з природним газом | довжина, м | 1000 | 1500 | 1700 | 1200 | 1100 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 |
| | діаметр, м | 0,40 | 0,35 | 0,45 | 0,60 | 0,65 | 0,20 | 0,25 | 0,45 | 0,65 | 0,40 |
| | продуктивність, л/с | 30,0 | 40,0 | 50,0 | 35,0 | 45,0 | 55,0 | 30,0 | 40,0 | 50,0 | 55,0 |
| | час перекриття засувок, с | 210 | 60 | 200 | 65 | 75 | 80 | 90 | 100 | 120 | 180 |

11.3. Встановити до якого класу об'єктів підвищеної небезпеки належить нафтопереробне підприємство. Характеристика обладнання підприємства, де знаходяться небезпечні хімічні речовини, наведена в таблиці 11.3.

Таблиця 11.3

| № варіанта | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------|--------------------------------------|-------------|------|------------|-------------|------|------------|-------------|------|------------|-------------|
| Резервуарний парк | об'єм резервуара, м ³ | 1000 | 5000 | 2000 | 4000 | 5000 | 3000 | 2000 | 2000 | 5000 | 1000 |
| | ступінь наповнення | 0,75 | 0,8 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 |
| | кількість резервуарів, шт. | 12 | 14 | 16 | 15 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 10 |
| | вид ЛЗР та ГР | бен- зин | ДП | наф- та | бен- зин | ДП | наф- та | бен- зин | ДП | наф- та | бен- зин |
| Ректифікаційна колона | кількість тарілок, шт. | 100 | 50 | 70 | 20 | 80 | 30 | 40 | 90 | 60 | 80 |
| | діаметр тарілки, м | 0,40 | 0,35 | 0,45 | 0,60 | 0,65 | 0,20 | 0,25 | 0,45 | 0,65 | 0,40 |
| | висота зливного патрубку, м | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 3,5 | 4,5 | 5,5 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 5,5 |
| | маса парової фази, тонн | 12 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 3 | 1 | 2 | 11 |
| Зливо-наливна естакада | об'єм ЛЗР у цистерні, м ³ | 25 | 155 | 55 | 145 | 65 | 125 | 85 | 135 | 75 | 165 |
| | кількість цистерн, шт. | 12 | 14 | 6 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 4 | 11 |
| | вид ЛЗР | бен- зин | ДП | наф- та | бен- зин | ДП | наф- та | бен- зин | ДП | наф- та | бен- зин |
| | ступінь заповнення | 0,9 | 0,8 | 0,95 | 0,85 | 0,8 | 0,9 | 0,85 | 0,95 | 0,8 | 0,9 |

11.4. Встановити до якого класу об'єктів підвищеної небезпеки належить склад нафтопродуктів (нафтобаза). Характеристика обладнання, де знаходяться небезпечні хімічні речовини, наведена в таблиці 11.2.

Таблиця 11.4

| № варіанта | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|----------------------------------|--------|------|-------|--------|------|--------|--------|------|-------|--------|
| Резервуарний парк | об'єм резервуара, м ³ | 1000 | 5000 | 2000 | 4000 | 5000 | 3000 | 2000 | 2000 | 5000 | 1000 |
| | ступінь наповнення | 0,75 | 0,8 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 |
| | кількість резервуарів, шт. | 12 | 8 | 16 | 10 | 10 | 12 | 1 | 6 | 12 | 8 |
| | вид ЛЗР | бензин | ДП | ДП | бензин | ДП | бензин | бензин | ДП | ДП | бензин |
| Склад нафтопродуктів в тані | об'єм бочки, л | 20 | 25 | 30 | 50 | 57 | 60 | 100 | 250 | 300 | 216 |
| | кількість бочок, шт. | 12 | 14 | 6 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 4 | 11 |
| | вид ЛЗР та ГР | бензин | ДП | масло | бензин | ДП | масло | бензин | ДП | масло | бензин |
| | ступінь заповнення | 0,95 | 0,80 | 0,90 | 0,85 | 0,85 | 0,9 | 0,85 | 0,90 | 0,85 | 0,9 |

11.5. Встановити до якого класу об'єктів підвищеної небезпеки належить хлораторна станція. Характеристика обладнання станції, де знаходяться небезпечні хімічні речовини, наведена в таблиці 11.5.

Таблиця 11.5

| № варіанта | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Склад хлору, тонн | | 16 | 8 | 14 | 8 | 9 | 13 | 15 | 7 | 9 | 10 |
| Склад балонів з хлором | об'єм балона, л | 12 | 27 | 24 | 40 | 35 | 12 | 27 | 24 | 40 | 35 |
| | коефіцієнт заповнення | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,30 | 0,65 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,60 | 0,45 |
| | кількість балонів, шт. | 12 | 10 | 14 | 20 | 18 | 16 | 15 | 14 | 20 | 26 |
| Маса хлору у виробничому приміщенні, тонн | | 3,0 | 6,0 | 4,0 | 2,0 | 5,0 | 2,5 | 6,5 | 4,5 | 3,5 | 5,5 |

11.6. Встановити до якого класу об'єктів підвищеної небезпеки належить хімзагод. Характеристика обладнання хімзаводу, де знаходяться небезпечні хімічні речовини, наведена в таблиці 11.6.

Таблиця 11.6

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|-----------------------------|------------------------|--------|------|--------|---------|------|--------|---------|-----|--------|------|
| Газгольдер водню, т | 16 | 18 | 14 | 15 | 20 | 16 | 15 | 17 | 19 | 10 | |
| Склад балонів з киснем | об'єм балона, л | 12 | 27 | 24 | 40 | 35 | 12 | 27 | 24 | 40 | 35 |
| | коефіцієнт заповнення | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,30 | 0,65 | 0,35 | 0,45 | 0,5 | 0,60 | 0,45 |
| | кількість балонів, шт. | 12 | 10 | 14 | 20 | 18 | 16 | 15 | 14 | 20 | 26 |
| Склад нафтопродуктів в тарі | об'єм бочки, л | 25 | 20 | 50 | 30 | 57 | 60 | 100 | 250 | 300 | 216 |
| | кількість бочок, шт. | 12 | 14 | 6 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 4 | 11 |
| | вид ЛЗР та ГР | мас-ло | ДП | мас-ло | бен-зин | ДП | мас-ло | бен-зин | ДП | мас-ло | ДП |
| | ступінь заповнення | 0,95 | 0,80 | 0,95 | 0,85 | 0,85 | 0,95 | 0,85 | 0,9 | 0,85 | 0,9 |

11.7. Встановити до якого класу об'єктів підвищеної небезпеки належить ацетиленова станція. Характеристика обладнання станції, де знаходяться небезпечні хімічні речовини, наведена в таблиці 11.7.

Таблиця 11.7

| № варіанта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|-----------------------------------|------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Склад карбиду кальцію, тонн | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 30 | 50 | 70 | 90 | 110 | |
| Склад балонів з ацетиленом | об'єм балона, л | 12 | 27 | 24 | 40 | 35 | 12 | 27 | 24 | 40 | 35 |
| | Коефіцієнт заповнення | 0,65 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,45 |
| | Кількість балонів, шт. | 15 | 20 | 22 | 25 | 28 | 16 | 18 | 24 | 21 | 26 |
| Маса ацетилену у приміщенні, тонн | 2,0 | 6,0 | 4,0 | 3,0 | 5,0 | 2,5 | 6,5 | 4,5 | 3,5 | 5,5 | |

ДОДАТКИ

Таблиця 1

Показники пожежної небезпеки деяких горючих речовин

| Речовина (клас) | М | t _{сп} , °С | t _{сз} , °С | ТМРП, °С | | КМРП, об. частки | | W _{min} , мДж | D _о · 10 ⁵ м ² /с | n | U _н , 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) | 58,08 | –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 | - |
| Метіловий 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 |
| Етилцелозоль (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 | – |
| Газ 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 | Т е м п е р а т у р а, 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-Гексакан | 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 | – |
| Метилловий 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, М | 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, °C | k |
|----------------|-------|-------|
| Аміак | 15 | 1,31 |
| | 100 | 1,28 |
| | 300 | 1,32 |
| Ацетилен | 15 | 1,26 |
| Бензол | 100 | 1,10 |
| | -20 | 1,42 |
| Водень | +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 |

Таблиця 6

Значення коефіцієнта K_p в формулі 2.1

| | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Тиск $P \times 10^{-5}$, Па | 2 | 7 | 17 | 41 | 161 | 401 | 1001 |
| Коефіцієнт $K_p \times 10^5$ | 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 °C 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 | |
| Метиловий 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, °C | 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, °C | Максимальний тиск вибуху, кПа | Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda \cdot 10^{-2}$, Вт/(м·К) (при 20°C та $1 \cdot 10^5$ Па) | Теплоємність C_p , кДж/(кг·К) (при 20°C та $1 \cdot 10^5$ Па) | Динамічна в'язкість $\mu \cdot 10^6$, Па·с (при 20°C) |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---|---|--|
| 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 $t=20^\circ\text{C}$ та $P=1 \cdot 10^5$ Па становить $C_p=1,005$ кДж/кг·К;
 коефіцієнт теплопровідності повітря при $t=20^\circ\text{C}$ та $P=1 \cdot 10^5$ Па – $\lambda=2,59 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К;
 коефіцієнт динамічної в'язкості повітря при $t=20^\circ\text{C}$ – $\mu=1,73 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

Таблиця 11

Динамічні коефіцієнти в'язкості рідин ($\mu \times 10^3$), 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 |

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 |
| Легкозайmistі і горючі рідини, які нагріті до температури спалаху та вище | 0,3 |
| Легкозайmistі і горючі рідини, які нагріті нижче температури спалаху, при наявності можливості утворення аерозолю | 0,3 |
| Легкозайmistі 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. | Повсть 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 смола СГ | 2,146 | 0,106 | 2,350 | 0,048 |
| 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° | | |
| | $\zeta_{\text{к}}$ | 1,1 | 0,55 | 0,35 | 0,2 | | |
| Відвод (коліно з плавним закругленням і $\alpha=90^\circ$) | При $2 < R/d \leq 3$ $\zeta_0=0,5$ | | | | | | |
| | При $3 < R/d \leq 7$ $\zeta_0=0,3$ | | | | | | |
| Вхід в трубу | З гострими краями $\zeta_{\text{вх}}=0,5$ | | | | | | |
| | З плавним входом $\zeta_{\text{вх}}=0,3$ | | | | | | |
| Вихід з труби | $\zeta_{\text{вих}}=1$ | | | | | | |
| Засувка повністю відкрита | Умовний прохід, мм | | | | | | |
| | Менше 175 | | 175–300 | | | Більше 300 | |
| | Коефіцієнт $\zeta_{\text{з.в.}}$ | | | | | | |
| | 0,5 | | 0,25 | | | 0,15 | |
| Засувка прикрита на 0,5 | $\zeta_{\text{з.п.}} > 2$ | | | | | | |
| Гідрозатвор | $\zeta_{\text{г}}=2,5-3,2$ | | | | | | |
| Трійник для потоку прямого бокового | $\zeta_{\text{т.п.}}=0,5$ | | | | | | |
| | $\zeta_{\text{т.б.}}=1,2$ | | | | | | |

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 (0x18Н10Т 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 | Температура, °С | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|--|
| | -100 | -50 | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 | | |
| мембрани | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | |
| 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 |
| Силікагель КСМ (d) | 9 – 10 | 0,52 | 880 |
| | 3 – 5 | 0,49 | 980 |

Таблиця 20

| Труби сталеві 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 |
| Метилловий 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 |

Таблиця 22

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 (0Х18Н10Т) м'яка напівнагартowana нагартowana | 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, $l_{кр1}$, залежно від величини критичної густини падаючих променистих потоків $q_{кр}$

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| $q_{кр}$, кВт/м ² | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
| $l_{кр1}$, м | 12 | 8 | 6 | 5 | 4 | 3,8 | 3,2 | 2,8 |

Таблиця 24

Теплота згоряння деяких органічних речовин

| Речовина | Q_H^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

Значення найнижчої теплоти згорання деяких рідких і твердих горючих речовин

| № з/п | Назва речовини | Формула речовини | Теплота згорання, кДж/моль |
|-------|--|--------------------------|----------------------------|
| 1 | Акрилова кислота, пропенова кислота | $C_3H_4O_2$ | 1280 |
| 2 | Алюмінію тристеарат | $C_{54}H_{105}O_6$ Al | 30470 |
| 3 | Амілацетат, аміловий ефір оцтової кислоти, | $C_7H_{14}O_2$ | 3889,9 |
| 4 | Втор-амілацетат, 1-метил-бутилацетат, втор-аміловий ефір оцтової кислоти | $C_7H_{14}O_2$ | 3882 |
| 5 | Амілбензол, фенілпентан | $C_{11}H_{16}$ | 6581 |
| 6 | Амілбутират, пентілбутират, аміловий ефір масляної кислоти | $C_9H_{18}O_2$ | 5099 |
| 7 | Амілдіфеніл | $C_{17}H_{20}$ | 9180 |
| 8 | Амілметилкетон, 2-гептанон | $C_7H_{14}O$ | 3913,8 |
| 9 | Амілнафталін | $C_{15}H_{18}$ | 8140 |
| 10 | Амілнітрат | $C_5H_{11}O_3N$ | 651 |
| 11 | н-Аміловий спирт, 1-пентанол, бутилкарбінол | $C_5H_{12}O$ | 3383,6 |
| 12 | трет-Аміловий спирт, 2-метил-2-бутанол, диметилетилкарбінол | $C_5H_{12}O$ | 3353 |
| 13 | Амілпропіонат, аміловий ефір пропіонової кислоти | $C_8H_{16}O_2$ | 4494 |
| 14 | п-трет-Амілфеніламіловий ефір, п-трет-пентілфенілоксипентан | $C_{16}H_{26}O$ | 9230 |
| 15 | п-трет-Амілфенілбутиловий ефір | $C_{15}H_{24}O$ | 8560 |
| 16 | Акролеїн, пропеналь, акриральдегід, альдегід акрилової кислоти | C_3H_4O | 604 |
| 17 | Аліловий спирт, 2-пропенол | C_3H_6O | 2039,1 |
| 18 | Амілфенілметиловий ефір | $C_{12}H_{18}O$ | 6700 |
| 19 | Амілформіат, аміловий ефір мурашиної кислоти | $C_6H_{12}O_2$ | 3285,5 |
| 20 | н-Амілциклогексан | $C_{11}H_{22}$ | 6755 |
| 21 | 1-Аміноантрахінон | $C_{14}H_9O_2N$ | 6655 |
| 22 | 1-Аміно-5-бензоіл-аміноантрахінон | $C_{21}H_{14}O_3N_2$ | 10581 |

| | | | |
|----|--|--------------------|----------------|
| 23 | 2-амінобензойна кислота антранілова кислота | $C_7H_7O_2N$ | 3354 |
| 24 | 3-амінобензойна кислота | $C_7H_7O_2N$ | 3344 |
| 25 | 4-амінобензойна кислота | $C_7H_7O_2N$ | 3311,7 |
| 26 | АміноБутан, бутиламін | $C_4H_{11}N$ | 2534 |
| 27 | 7-Аміногептанова кислота, аміноенантова кислота | $C_7H_{15}O_2N$ | 4212,5 |
| 28 | 4-Аміно-3,5-диметилпіразол | $C_5H_9N_3$ | 3374 |
| 29 | 2-Аміно-2-метилпропан, трет-бутиламін | $C_4H_{11}N$ | 2995 |
| 30 | Аміак | NH_3 | 316,5 |
| 31 | Ангідрид бутанової кислоти, бутиловий ангідрид, ангідрид масляної кислоти, масляний ангідрид | $C_8H_{14}O_3$ | 4586,41 |
| 32 | Анізол, метоксибензол, метилбензиловий ефір | C_7H_8O | 3658 |
| 33 | Анілін, амінобензол, феноламін | C_6H_7N | 3016 |
| 34 | Антрацен | $C_{14}H_{10}$ | 7059 |
| 35 | Антрацит | | 33,9 - 34,8 |
| 36 | Ароматизована олива, теплоносій АМТ-300 | | 127 |
| 37 | Ацеталь, 1,1-діетоксиетан, етилідендіетиловий ефір, діетилацеталь | $C_6H_{14}O_2$ | 398 |
| 38 | Ацетальдегід, етаналь, оцтовий альдегід | C_2H_4O | 1192,48 |
| 39 | Ацетанлід, N-фенілацетамід, N-ацетиланілін, антифебрін | C_8H_9ON | 4223 |
| 40 | Ацетилен, етін | C_2H_2 | 1301 |
| 41 | Ацетобутират целлюлози | | 23677 |
| 42 | Ацетон, 2-пропанон, Диметилкетон | C_3H_6O | 1821,38 |
| 43 | Ацетонілацетон, 2,5-гександіон | $C_6H_{10}O_2$ | 3200 |
| 44 | Ацетонітріл, етанонітріл, ціанометан, нітрил оцтової кислоти | C_2H_3N | 1198,29 |
| 45 | Ацетофенон, метилфенілкетон, ацетилбензол | C_8H_8O | 4021,9 |
| 46 | Барій | Ba | 536 |
| 47 | Бензилбутиловий ефір адипінової кислоти | $C_{17}H_{24}O_4$ | 9327 |
| 48 | Бензилбутиловий ефір тіодиглікольової кислоти | $C_{15}H_{20}O_4S$ | 8058 |
| 49 | Бензилбутил-о-фталат | $C_{19}H_{20}O_4$ | 9708 |
| 50 | 1-Бензоіламіноантрахінон | $C_{21}H_{13}O_3N$ | 9969 |
| 51 | 5-Бензоіламіноаценафтен | $C_{19}H_{15}ON$ | 7471 |
| 52 | о-Бензоілбензойна кислота, бензофенон-о- | $C_{14}H_{10}O_3$ | 6655 |

| | | | |
|----|--|-------------------------|--------|
| | карбонова кислота | | |
| 53 | Бензойна кислота | $C_7H_6O_2$ | 3176 |
| 54 | Бензол | C_6H_6 | 3169,4 |
| 55 | Берилій | Be | 615 |
| 56 | Біс(1,2",5"-триметил-4"-оксипіперіділ-4") бутадин-1,3 | $C_{20}H_{32}O_2N$ 2 | 12188 |
| 57 | Борнеол | $C_{10}H_{19}O$ | 6143 |
| 58 | Папір фотографічний | | 13272 |
| 59 | Бутан | C_4H_{10} | 2657 |
| 60 | 1,3-бутандіол, 1,3-бутиленгліколь | $C_4H_{10}O_2$ | 2453 |
| 61 | 2,3-Бутандіон, диметилкетон | $C_4H_6O_2$ | 1970 |
| 62 | Бутанова кислота, масляна кислота, етилоцтова кислота | $C_4H_8O_2$ | 2007,4 |
| 63 | 1-Бутанол, н-бутиловий спирт | $C_4H_{10}O$ | 2728 |
| 64 | 2-бутанол, втор-бутиловий спирт | $C_4H_{10}O$ | 2713 |
| 65 | Трет-бутанол, 2-метил-2-пропанол, триметилкарбінол | $C_4H_{10}O$ | 2690 |
| 66 | 2-Бутанон, метилетилкетон | C_4H_8O | 2469,4 |
| 67 | 1,2,4-Бутантріол | $C_4H_{10}O_3$ | 2398 |
| 68 | транс-Бутендіова кислота, фумарова кислота | $C_4H_4O_4$ | 1335 |
| 69 | 2-Бутенова кислота, кротонова кислота | $C_4H_6O_2$ | 1998 |
| 70 | 2-Бутен-1-ол, кротиловий спирт, кротоніловий спирт | C_4H_8O | 2557,8 |
| 71 | 3-Бутен-1-ол, вінілетиловий спирт, аллілкарбінол | C_4H_8O | 2579,6 |
| 72 | Бутилацетат, бутиловий ефір оцтової кислоти | $C_2H_{12}O_2$ | 3285 |
| 73 | втор-Бутилацетат | $C_6H_{12}O_2$ | 3276 |
| 74 | трет-Бутилацетат | $C_6H_{12}O_2$ | 3260 |
| 75 | Бутилбензол, 1-фенілбутан | $C_{10}H_{14}$ | 5608,9 |
| 76 | втор-Бутилбензол, 2-фенілбутан | $C_{10}H_{14}$ | 5608 |
| 77 | трет-Бутилбензол, 2-метил-2-фенілпропан | $C_{10}H_{14}$ | 5608 |
| 78 | Бутилгліколь, 2-бутоксietанол, бутилцеллозольв, монобутиловий ефір етиленгліколя | $C_6H_{14}O_2$ | 3619 |
| 79 | Бутилкарбітол, 1-(бутоксietокси)-2-етанол, монобутиловий ефір діетиленгліколя | $C_8H_{18}O_3$ | 4717 |
| 80 | Бутилметилкетон, 2-гексанон | $C_6H_{12}O$ | 3539 |
| 81 | 2-Бутилоктанол-1 | $C_{12}H_{26}O$ | 7987 |

| | | | |
|-----|--|-------------------|----------------|
| 82 | Бутилпропіонат, бутиловий ефір пропіонової кислоти | $C_7H_{14}O_2$ | 3 890 |
| 83 | Бутилфеніловий ефір, бутоксибензол | $C_{10}H_{14}O$ | 5502 |
| 84 | Бутилформіат, бутиловий ефір мурашиної кислоти | $C_5H_{10}O_2$ | 2681 |
| 85 | Бутилциклогексан | $C_{10}H_{20}$ | 6140 |
| 86 | Бутилциклопентан | C_9H_{18} | 5550 |
| 87 | Бутилетилацетальдегід, 2-етилгексаналь, 2-етилкапроальдегід | $C_8H_{16}O$ | 4794 |
| 88 | Бутилетилкетон, 3-гептанон | $C_7H_{14}O$ | 3913 |
| 89 | 1-бутін | C_4H_6 | 2599 |
| 90 | Бутоксибутен-1-ин-3 | $C_8H_{12}O$ | 4707 |
| 91 | Валеріанова кислота, пентанова кислота | $C_5H_{10}O_2$ | 2617 |
| 92 | Валер'яновий альдегід, пентаналь, аміловий альдегід, валеральдегід | $C_5H_{10}O$ | 2948 |
| 93 | Вінілізооктіловий ефір | $C_{10}H_{20}O$ | 6132 |
| 94 | Вінілізопропіловий ефір | $C_5H_{10}O$ | 3038 |
| 95 | Вінілтриметилноніловий ефір етеніл-окси-1-ізобутил-3,5-диметилгексан | $C_{14}H_{28}O$ | 8554 |
| 96 | Вінілхлорид, хлоретен, хлоретилен, хлорвініл, етенілхлорид | C_2H_3Cl | 1156 |
| 97 | Вініпласт | | 18 |
| 98 | Водень | H_2 | 241,6 |
| 99 | Повсть будівельна | | 18,9 МДж/кг |
| 100 | Галова кислота, танін | $C_7H_6O_5$ | 2810 |
| 101 | Гексадекан | $C_{16}H_{34}$ | 10034 |
| 102 | Гексадециловий спирт, 1-гексадеканол, цетиловий спирт | $C_{16}H_{34}O$ | 10627,3 |
| 103 | 2,4-Гексадієналь | C_6H_8O | 3134 |
| 104 | Гексаналь, альдегід гексану, капроальдегід, капроновий альдегід | $C_6H_{12}O$ | 3563 |
| 105 | Гексахлорбутадиєн | C_4C_{16} | 82,5 |
| 106 | 1-Гексен, бутилетилен, α -гексилєн | C_6H_{12} | 3767,7 |
| 107 | 3-Гексен-1-ол | $C_6H_{12}O$ | 3875,1 |
| 108 | Гексиламін, 1-аміногексан | $C_6H_{15}N$ | 3679 |
| 109 | Гексилацетат, ефір гексилу оцтової кислоти | $C_8H_{16}O_2$ | 4494,3 |
| 110 | Гексилдиетилгексагідро | $C_{24}H_{46}O_4$ | 14010 |

| | | | |
|-----|---|-----------------------------|------------------------|
| | фталат | | |
| 111 | н-Гексилкарбітол, моногексильовий ефір діетиленгліколю | $C_{10}H_{22}O_3$ | 5965 |
| 112 | Гексилметилкетон, 2-октанон, 2-кетоктан | $C_8H_{16}O$ | 4770,9 |
| 113 | Спирт гексильовий, 1-гексанол, амількарбінол | $C_6H_{14}O$ | 4044,6 |
| 114 | втор-Гексильовий спирт, 2-гексанол, бутилметилкарбінол | $C_6H_{14}O$ | 4392,4 |
| 115 | трет-Гексильовий спирт, 3-метил-3-пентанол | $C_6H_{14}O$ | 3990,7 |
| 116 | Гексилпропіонат, гексильовий ефір пропіонової кислоти | $C_9H_{18}O_2$ | 5099,4 |
| 117 | Гексилформіат, гексильовий ефір мурашиної кислоти | $C_7H_{14}O_2$ | 3889,9 |
| 118 | Гексилцеллозольв, гексильоксидетанол, гексилгліколь, моногексильовий ефір етилгліколю | $C_8H_{18}O_2$ | 4848 |
| 119 | Гексилциклопентан | $C_{11}H_{22}$ | 6779 |
| 120 | Гептадециловий спирт, 1-гептадеканол | $C_{17}H_{36}O$ | 11285,9 |
| 121 | Гептан | C_7H_{16} | 4501 |
| 122 | 2-Гептанол | $C_7H_{16}O$ | 5048,3 |
| 123 | 3-Гептанол, етилбутилкарбінол | $C_7H_{16}O$ | 4681,1 |
| 124 | Гептилбутират, гептиловий ефір масляної кислоти | $C_{11}H_{22}O_2$ | 6307,6 |
| 125 | Гептилметилкетон, 2-нонанон | $C_9H_{18}O$ | 5386,9 |
| 126 | Гептиловий спирт, 1-гептанол | $C_7H_{16}O$ | 4709,5 |
| 127 | Гептилпропіонат, гептиловий ефір пропіонової кислоти | $C_{10}H_{20}O_2$ | 5703,2 |
| 128 | Гептилформіат, гептиловий ефір мурашиної кислоти | $C_8H_{16}O_2$ | 4494,3 |
| 129 | Гетинакс марки В | | (22129 - 22953) кДж/кг |
| 130 | Гідразин | N_2H_4 | 14644 кДж/кг |
| 131 | 4-Гідразиндифеніловий ефір 2-сульфокислоти | $C_{12}H_{12}O_4$ N_2S | 5998 |
| 132 | 2- α -Гідроксиметилтетрагідро-піран, тетрагідропіран-2-метанол | $C_6H_{12}O_2$ | 3425 |

| | | | |
|-----|---|-----------------------|--------|
| 133 | 2-(2''-Гідрокси-5''-метилфеніл)-1,2,3-бензотриазол, | $C_{13}H_{11}ON$ 3 | 6850 |
| 134 | 2-Гідроксиетилацетат, моноацетат етилгліколю, ацетат етилгліколю | $C_4H_8O_3$ | 2124,4 |
| 135 | Гідроксиетилморфолін, морфолінетанол, N-гідроксиетилморфолін | $C_6H_{13}O_2N$ | 3640 |
| 136 | Гідроксиетилпіперазин | $C_6H_{13}ON_2$ | 3810 |
| 137 | 2-(2-Гідроксиетил)піридин, 2-піридилетанол | C_7H_9ON | 3770 |
| 138 | 4-(2-Гідроксиетил) піридин, 4-піридилетанол | C_7H_9ON | 3770 |
| 139 | N-Гідроксиетилпірролидин | $C_6H_{13}ON$ | 3730 |
| 140 | Гідрохінон, 1,4-дигідроксибензол, хинол, діоксibenзол | $C_6H_6O_2$ | 2826 |
| 141 | Гліцерин, 1,2,3-пропантріол, гліцерол | $C_3H_8O_3$ | 1483 |
| 142 | Гліцерінацеталь фенілацетальдегіда | $C_{11}H_{14}O_3$ | 5650 |
| 143 | Гліциділметакрилат, епоксипропіловий ефір 2-метилпропенової кислоти | $C_7H_{10}O_3$ | 3710 |
| 144 | Гліциділфеніловий ефір, епоксипропіобензол | $C_9H_{10}O_2$ | 4650 |
| 145 | D(+) - Глюкоза, декстро́за | $C_6H_{12}O_6$ | 2803 |
| 146 | Декагідронафталін, декалін | $C_{10}H_{18}$ | 5940 |
| 147 | Декан | $C_{10}H_{22}$ | 6346 |
| 148 | Деканаль, капринальдегід, каприновий альдегід, дециловий альдегід | $C_{10}H_{20}O$ | 6025 |
| 149 | 1,10-Декандіова (себацінова) кислота | $C_{10}H_{18}O_4$ | 5431 |
| 150 | Деканова (капринова) кислота | $C_{10}H_{20}O_2$ | 5058 |
| 151 | 2-Деканон, метилетилкетон | $C_{10}H_{20}O$ | 1921 |
| 152 | Децилацетат, дециловий ефір оцтової кислоти | $C_{12}H_{24}O_2$ | 6912 |
| 153 | Децилнафталін | $C_{20}H_{28}$ | 11220 |
| 154 | Дециловий спирт, 1-деканол | $C_{10}H_{22}O$ | 6677,6 |
| 155 | Діамілбіфеніл | $C_{22}H_{30}$ | 12260 |
| 156 | Діамілнафталін | $C_{20}H_{28}$ | 11 220 |
| 157 | Діаміловий ефір, пентоксипентан | $C_{10}H_{22}O$ | 6245 |
| 158 | Діамілхлорнафталін | $C_{20}H_{27}Cl$ | 11060 |
| 159 | 1,2-Діамінобензол, о-фенілендіамін | $C_6H_8N_2$ | 3330 |
| 160 | 1,3-Діамінобензол, м-фенілендіамін | $C_6H_8N_2$ | 3320 |
| 161 | 1,4-Діамінобензол, п-фенілендіамін | $C_6H_8N_2$ | 3330 |
| 162 | 1,6-Діаміногексан, 1,6-гександіамін | $C_6H_{16}N_2$ | 4570 |
| 163 | 1,5-Діамінонафталін, 1,5-нафтілендіамін | $C_{10}H_{10}N_2$ | 5410 |
| 164 | 3,4-Діамінотолуол, 4-метил-о-фенілендіамід | $C_7H_{10}N_2$ | 4100 |

| | | | |
|-----|---|----------------------------|---------|
| 165 | 1,4-Діаміно-2',4',6'-триметилфенілантрахінон | $C_{32}H_{30}O_2$ N_2 | 16844,8 |
| 166 | Діафен ФП, N-ізопропіл-N'-феніл-n-фенілендіамін | $C_{15}H_{18}N_2$ | 8410 |
| 167 | Діафен 13, N-феніл-N-(1,3-диметилбутил) -n-фенілендіамід | $C_{18}H_{24}N_2$ | 10150 |
| 168 | Діацетоновий спирт, 4-гідрокси-4-метилпентанон-2, діацетон | $C_6H_{12}O_2$ | 3730 |
| 169 | Дібензоат триетиленгліколя, 1,2-ді(бензоатетокси) етан | $C_{20}H_{22}O_6$ | 9985 |
| 170 | Дибутіладипінат, дибутіловий ефір гександіонової кислоти, дибутіловий ефір адипінової кислоти | $C_{14}H_{26}O_4$ | 8265,5 |
| 171 | Дибутілмалеат, дибутіловий ефір бутендіової кислоти | $C_{12}H_{20}O_4$ | 6782,6 |
| 172 | n- Дибутіловий ефір, бутоксибутан, бутиловий ефір | $C_8H_{18}O$ | 4990 |
| 173 | 1-(3,5-Ди-трет-бутил-4-оксибензил) -трет-октилтіосемікарбазид, озонін-20 | $C_{24}H_{43}ON$ $_3S$ | 14740 |
| 174 | N-(3,5-Ди-трет-бутил-4-оксибензил) -N'-фенілпіперазин, озонін-87 | $C_{25}H_{36}ON$ $_2$ | 14030 |
| 175 | Ді-трет-бутилпероксид, перекис ді-трет-бутилу | $C_8H_{18}O_2$ | 5300 |
| 176 | 3,5-Дибутілпірідин | $C_{13}H_{21}N$ | 7620 |
| 177 | N,N'-Ді-втор-бутил-n-фенілендіамін | $C_{14}H_{22}N_2$ | 8180 |
| 178 | Ді-втор-бутилфенол | $C_{14}H_{22}O$ | 7910 |
| 179 | 2,4-Ді-трет-бутилфенол | $C_{14}H_{22}O$ | 7910 |
| 180 | Дибутілфталат, дибутіловий ефір фталевої кислоти, фтальоводи- бутиловий ефір | $C_{16}H_{22}O_4$ | 8686 |
| 181 | Дигексиловий ефір, n-гексиловий ефір | $C_{12}H_{26}O$ | 7473 |
| 182 | Дигептіловий ефір, 1-гептилоксигептан гептіловий ефір | $C_{14}H_{30}O$ | 8701 |
| 183 | 2,4-Дигідроксибензойна кислота, диоксибензойна кислота | $C_7H_6O_4$ | 2942,8 |
| 184 | 2,4-Дигідроксибензофенон, 2,4-діоксибензофенон, бензон О | $C_{13}H_{10}O_3$ | 5900 |
| 185 | 9,10-Дигідрокси-1,4-діаміноантрацен, лейко-1,4-діаміноантрахінон | $C_{14}H_{12}O_2$ N_2 | 6834,5 |
| 186 | 1,8-Дигідрокси-4,5-динітроантрахінон, 4,5- | $C_{14}H_6O_8N$ | 5193,4 |

| | | | |
|-----|---|----------------------------|------------------|
| | динітрохризазин | 2 | |
| 187 | Дигліколя ділевулінат, 2,2'-оксибіс (етиллевулінат), диетилен-гліколь ділевулінат | $C_{14}H_{22}O_7$ | 7138 |
| 188 | Дідециловий ефір, децилоксидекан, дециловий ефір | $C_{20}H_{42}O$ | 12386 (розр.) |
| 189 | Діізоаміловий ефір, 3-метилбутилокси-3"-метилбутан, ізоаміловий ефір | $C_{10}H_{22}O$ | 6245 (розр.) |
| 190 | Діізобутилкетон, 2,6-диметил-4-гептанон, ізовалерон, діізопропілацетон | $C_9H_{18}O$ | 5386 (розр.) |
| 191 | Діізопропіламін | $C_6H_{15}N$ | 3679 |
| 192 | Діізопропілкетон, 2,4-диметил-3-пентанон | $C_7H_{14}O$ | 3913,8 |
| 193 | Діізопропіловий ефір, ізопропілоксиізопропан, ізопропіловий ефір | $C_6H_{14}O$ | 3735,6 |
| 194 | N,N-Диметиланілін | $C_8H_{11}N$ | 4586,3 |
| 195 | 2,6-Ді-(α -метилбензил)-4-метилфенол | $C_{23}H_{24}O$ | 11970 |
| 196 | 2,3-Диметилгексан | C_8H_{18} | 5111 |
| 197 | 2,4-Диметилгексан | C_8H_{18} | 5105 |
| 198 | 3,5-Диметил-1-гексин-3-ол | $C_8H_{14}O$ | 5021,5 |
| 199 | 3,3-Диметилгептан | C_9H_{20} | 5718 |
| 200 | 2,6-Диметил-4-гептанол, діізобутил карбінол | $C_9H_{20}O$ | 6371,9 |
| 201 | Диметилдекагідронафталін, диметилдекалін | $C_{12}H_{22}$ | 7204 |
| 202 | 2,6- Диметилдіоксан -1,4 | $C_6H_{12}O_2$ | 3530 |
| 203 | Диметилди(феніламінофенокси) силан | $C_{26}H_{26}O_2N_2$ Si | 33744 кДж/кг |
| 204 | 1,3-Диметил-1,3-дифенілциклобутан | $C_{18}H_{20}$ | 9690 |
| 205 | 3,7-Диметилксантин, теобромін | $C_7H_8O_2N_4$ | 3536 |
| 206 | Диметиловий ефір, метиловий ефір, метоксиметан | C_2H_6O | 1322 |
| 207 | Диметиловий ефір етилгліколя, 1,2-диметоксіетан, диметилгліколь | $C_4H_{10}O_2$ | 2406,5 |
| 208 | 2,3-Диметиллоктан | $C_{10}H_{22}$ | 6339 |
| 209 | 4,5-Диметиллоктан | $C_{10}H_{22}$ | 6342 |
| 210 | 2,2-Диметилпентан, 2,2,4-триметилбутан | C_7H_{16} | 4483 |
| 211 | 2,3-Диметилпентан | C_7H_{16} | 4490 |
| 212 | 2,4-Диметилпентан, діізопропілметан | C_7H_{16} | 4487 |
| 213 | 2,3-Диметилпентальдегід, 2,3-диметилпентаналь | $C_7H_{14}O$ | 4178 |
| 214 | 2,4-Диметил-3-пентанол, діізопропілкарбінол | $C_7H_{16}O$ | 5055,2 |

| | | | |
|-----|---|----------------------|---------|
| 215 | 2,2-Диметилпропан, неопентан, 2-метилізобутан, тетраметилметан | C_5H_{12} | 3253 |
| 216 | 2,2-Диметил-1-пропанол, неопентіловий спирт, трет-бутилкарбінол | $C_5H_{12}O$ | 3737,7 |
| 217 | Диметилсукцинат, диметиловий ефір бутандіонової кислоти | $C_6H_{10}O_4$ | 2996,3 |
| 218 | Диметилтерефталат, диметиловий ефір бензол-1,4-дикарбонової кислоти | $C_{10}H_{10}O_4$ | 4648,1 |
| 219 | Диметилфталат, диметиловий ефір о-фталевої кислоти | $C_{10}H_{10}O_4$ | 4681,6 |
| 220 | 1,1-Диметилциклогексан | C_8H_{16} | 4902 |
| 221 | 1,4-транс-Диметилциклогексан | C_8H_{16} | 4898 |
| 222 | 1,4-цис-Диметилциклогексан | C_8H_{16} | 4906 |
| 223 | 2,5-Диметоксихлорбензол | $C_8H_9O_2Cl$ | 3890 |
| 224 | 2-Диморфоліацетилфлуоренон | $C_{23}H_{26}O_3N_2$ | 7157 |
| 225 | 1,5-Динітроантрахінон | $C_{14}H_6O_6N_2$ | 6384,8 |
| 226 | Діоктіловий ефір, октиловий ефір, 1-октілоксиоктан | $C_{16}H_{34}O$ | 9930 |
| 227 | Дипропілкетон, 4-гептанон, бутирон | $C_7H_{14}O$ | 3913 |
| 228 | Дипропіловий ефір, пропіловий ефір, пропілоксипропан | $C_6H_{14}O$ | 3760 |
| 229 | Дипсевдокумілметан | $C_{19}H_{24}$ | 10410 |
| 230 | 1,4-Ді (2',4',6'-триметилфеніл) діаміноантрахінон | $C_{32}H_{29}O_2N_2$ | 18639,7 |
| 231 | Дифеніл, біфеніл, феніл бензол | $C_{12}H_{10}$ | 6023 |
| 232 | 1,2-Дифенілбензол, о-терфеніл | $C_{18}H_{14}$ | 9060 |
| 233 | 1,3-Дифенілбензол, м-терфеніл | $C_{18}H_{12}$ | 9060 |
| 234 | 1,4-Дифенілбензол, п-терфеніл | $C_{18}H_{14}$ | 9060 |
| 235 | 1,1-Дифенілбутан | $C_{16}H_{18}$ | 8560 |
| 236 | Дифеніл-2-бутен-1-он, дипнон | $C_{16}H_{14}O$ | 8080 |
| 237 | Дифенілметан, дітан, бензилбензол | $C_{13}H_{12}$ | 6720 |
| 238 | 2,2-Ди(п-фенілол) пропан | $C_{15}H_{16}O_2$ | 7640 |
| 239 | 1,1-Дифенілпентан | $C_{17}H_{20}$ | 9180 |
| 240 | 1,1-Дифенілпропан | $C_{15}H_{16}$ | 7950 |
| 241 | 1,5-Дифеніл-3-стирілпіразолін | $C_{23}H_2N_2$ | 12355 |
| 242 | N,N'-Дифеніл-п-фенілендіамін | $C_{18}H_{16}N_2$ | 9420 |
| 243 | 1,1-Дифенілетан | $C_{14}H_{14}$ | 7330 |
| 244 | 1,2-Дифенілетан | $C_{14}H_{14}$ | 7330 |

| | | | |
|-----|--|---------------------------|--------|
| 245 | 1,1-Дифенілетан-4,4"-діізоціанат | $C_{15}H_{12}O_2N_2$ | 7380 |
| 246 | 1,3-Дихлор-2-аміноантрахінон | $C_{14}H_7O_2NC$ l_2 | 6280 |
| 247 | 1,3-Дихлорантрахінон | $C_{14}H_6O_2Cl_2$ | 6146 |
| 248 | 1,2-дихлорбензол, о-дихлорбензол | $C_6H_4Cl_2$ | 2768,6 |
| 249 | Дихлорметан, метиленхлорид, хлористий метилен | CH_2Cl_2 | 448 |
| 250 | 2,3-Дихлорпропілен, α -епідихлоргидрін, α -хлоралліл хлористий | $C_3H_4Cl_2$ | 1429 |
| 251 | 1-(2,4-Дихлорфенокси)-2-пропанол, 2,4-дихлорфеніловий ефір пропіленгліколя | $C_9H_{20}O_2C$ l_2 | 5790 |
| 252 | 2,4-дихлорфеноксиоцтова кислота, 2,4-Д (гербіцид) | $C_8H_6O_3Cl_2$ | 3930 |
| 253 | 2,4-Дихлорфенол | $C_6H_4OCl_2$ | 2920 |
| 254 | 1,1-дихлоретан, етиліден хлористий | $C_2H_4Cl_2$ | 1076 |
| 255 | 1,1,2-дихлоретилен, сим-дихлоретилен ацетилендихлорид, диоформ | $C_2H_2Cl_2$ | 961 |
| 256 | Диетиламін | $C_4H_{11}N$ | 2550,8 |
| 257 | μ -Диетилбензол, 1,3-диетилбензол | $C_{10}H_{14}$ | 5608 |
| 258 | о-Диетилбензол, 1,2-диетилбензол | $C_{10}H_{14}$ | 5608,9 |
| 259 | п-Диетилбензол, 1,4-діетилбензол | $C_{10}H_{14}$ | 5608,9 |
| 260 | Ді-2-етилбутират триетиленгліколю | $C_{18}H_{34}O_6$ | 9812 |
| 261 | Ді-2-етилгексоат Триетиленгліколя | $C_{22}H_{42}O_6$ | 12384 |
| 262 | N,N-Диетил-2,5-диметилбензамід | $C_{13}H_{19}ON$ | 7300 |
| 263 | Діетилен-біс-гліколят, діетилетилендігліколят | $C_{10}H_{20}O_6$ | 5249 |
| 264 | Діетилкарбонат, діетиловий ефір вугільної кислоти | $C_5H_{10}O_3$ | 2910,6 |
| 265 | Діетилкетон, 3-пентанон, симм-діметилацетон, пропіон | $C_5H_{10}O$ | 2924 |
| 266 | Діетилмалеат, діетиловий ефір бутендіової кислоти | $C_8H_{12}O_4$ | 4147,9 |
| 267 | Діетиловий ефір, етиловий ефір, етоксиетан | $C_4H_{10}O$ | 2531 |
| 268 | Діетиловий ефір м-нітрофенілгідрозомезоксалевої кислоти, ромуцид | | 6545 |
| 269 | Діетиловий ефір тетрафторгександіонової кислоти, діетиловий ефір перфторадипінової кислоти, діетиладипфторат | $C_{10}H_{10}O_4F$ 8 | 4014 |

| | | | |
|-----|--|-----------------------|------------------|
| 270 | Діетиловий ефір тріетоксисилілетилфосфонової кислоти, ефір перфторглютарової кислоти, діетилглютарфосфат | $C_9H_{10}O_4F_6$ | 3319 |
| 271 | 3,3-Діетилпентан | C_9H_{20} | 5728 |
| 272 | Діетилсукцинат, діетиловий ефір бутандіової (янтарної) кислоти | $C_8H_{14}O_4$ | 4315,5 |
| 273 | 3,5-Діетилтолуол, 1-метил-3,5-діетилбензол | $C_{11}H_{16}$ | 6224 |
| 274 | Діетилцеллозольв, 1,2-діетоксиетан, діетиловий ефір етилгліколя, діетилгліколь | $C_6H_{14}O_2$ | 3633,2 |
| 275 | Додекан | $C_{12}H_{26}$ | 7575 |
| 276 | Додеканова (лауринова) кислота | $C_{12}H_{24}O_2$ | 7414 |
| 277 | Додециловий спирт, 1-додеканол, лауриновий спирт | $C_{12}H_{26}O$ | 8307,8 |
| 278 | Деревина дубова | | 18221 - 19874 |
| 279 | Деревина ялинкова | | 20305 |
| 280 | Деревина соснова | | 18731 - 20853 |
| 281 | Рідина ФМ-1, олігомер 1,3,5-триметил- 1,1,3,5,5-пентафеніл трисилоксан | $C_{33}H_{34}O_2Si_3$ | 36032 |
| 282 | Ізоамілацетат, 3-метил-бутилацетат, ізоаміловий ефір оцтової кислоти | $C_7H_{14}O_2$ | 3881,5 |
| 283 | Ізоамілбутират, 3-метилбутилбутаноат, ізоаміловий ефір масляної кислоти | $C_9H_{18}O_2$ | 5092,7 |
| 284 | Ізоаміловий спирт, 3-метил-1-бутанол | $C_5H_{12}O$ | 3380 |
| 285 | Ізоамілпропіонат, 3-метилбутилпропіонат | $C_8H_{16}O_2$ | 4487,1 |
| 286 | Ізоамілформіат, 3-метилбутилформіат, ізоаміловий ефір мурашиної кислоти | $C_6H_{12}O_2$ | 3276 |
| 287 | Ізобутан, 2-метилпропан, триметилметан | C_4H_{10} | 2649 |
| 288 | Ізобутилацетат, 2-метилпропілацетат, ізобутиловий ефір оцтової кислоти | $C_6H_{12}O_2$ | 3276 |
| 289 | Ізобутилбензол | $C_{10}H_{14}$ | 5608 |
| 290 | Ізобутилбутират, ізобутиловий ефір масляної кислоти | $C_8H_{16}O_2$ | 4487,1 |
| 291 | Ізобутилен, 2-метилпропен-1 | C_4H_8 | 2577 |
| 292 | Ізобутилметилкетон, 4-метил-2-пентанон | $C_6H_{12}O$ | 3539 |
| 293 | Ізобутиловий альдегід, 2-метилпропаналь, ізобутираль, ізомасляний альдегід | C_4H_8O | 1214 |

| | | | |
|-----|--|-------------------|--------|
| 294 | Ізобутилпропіонат, ізобутиловий ефір пропіонової кислоти | $C_7H_{14}O_2$ | 3881,5 |
| 295 | Ізобутилформіат, ізобутиловий ефір мурашиної кислоти | $C_5H_{10}O_2$ | 2670 |
| 296 | Ізовалеріанова кислота, метилбутанова, ізопентанова | $C_5H_{10}O_2$ | 2670,8 |
| 297 | Ізовалеріановий альдегід, 3-метилбутаналь | $C_5H_{10}O$ | 2947 |
| 298 | Ізогексан, 2-метилпентан, диметилпропілметан, 2-етилбутан | C_6H_{14} | 3880 |
| 299 | Ізогексиловий спирт, 4-метил-1-пентанол, ізоамілкарбінол | $C_6H_{14}O$ | 4375,5 |
| 300 | Ізодекальдегід, метилнонаналь | $C_{10}H_{20}O$ | 6025 |
| 301 | Ізодеканова кислота, метилнонанова кислота | $C_{10}H_{20}O$ | 5748,8 |
| 302 | Ізомасляна кислота, 2-метилпропанова, ізобутилова | $C_4H_8O_2$ | 2055 |
| 303 | Ізооктанова кислота, метилгептанова кислота | $C_8H_{16}O_2$ | 4517,5 |
| 304 | Ізопентан, 2-метилбутан | C_5H_{12} | 3264 |
| 305 | Ізопрен, 2-метил-1,3-бутадієн, α -метилдивініл, гемітерпен | C_5H_8 | 2993 |
| 306 | Ізопропіламін, 2-амінопропан | C_3H_9N | 1958,4 |
| 307 | Ізопропілацетат, ізопропіловий ефір оцтової кислоти | $C_5H_{10}O_2$ | 2670,4 |
| 308 | 2-Ізопропілбіфеніл, 2-моноізопропілдіфеніл | $C_{15}H_{16}$ | 7950 |
| 309 | 2-Ізопропілбіциклогексил | $C_{15}H_{28}$ | 9050 |
| 310 | Ізопропілбутират, ізопропілбутаноат, ізопропіловий ефір масляної кислоти | $C_7H_{14}O_2$ | 3881,5 |
| 311 | 4-Ізопропілгептан | $C_{10}H_{22}$ | 6344 |
| 312 | Ізопропілметилкетон, 2-метил-3-бутанон, 1,1-диметилацетон | $C_5H_{10}O$ | 2924 |
| 313 | Ізопропіловий спирт, 2-пропанол, ізопропанол, диметилкарбінол | C_3H_8O | 2051,4 |
| 314 | Ізопропіловий ефір хлорвугільної кислоти, ізопропілхлоркарбонат | $C_4H_7O_2Cl$ | 1846 |
| 315 | Ізопропілпропіонат, ізопропіловий ефір пропіонової кислоти | $C_6H_{12}O_2$ | 3276 |
| 316 | Ізопропілформіат, ізопропіловий ефір мурашиної кислоти | $C_4H_8O_2$ | 2064,9 |
| 317 | Ізопропіл-3-хлорфенілкарбамат, ізопропіловий | $C_{10}H_{12}O_2$ | 5170 |

| | | | |
|-----|---|--------------------------------------|-------------------|
| | ефір 3-хлорфенілкарбамінової кислоти | NCI | |
| 318 | Ізопропілциклогексан | C_9H_{18} | 5518 |
| 319 | Ізофталева кислота, 1,3-бензолдикарбонова кислота | $C_8H_6O_4$ | 3203 |
| 320 | Ітаконова кислота, пропілен-2,3-дикарбонова кислота | $C_6H_6O_4$ | 1981,4 |
| 321 | μ-Йодбензойна кислота, 3-йодбензойна кислота | $C_7H_5O_2I$ | 3301 |
| 322 | Кальцій, | Ca | 633,7 |
| 323 | Каніфоль | $C_{20}H_{30}O_2$ | 30,4 МДж/кг |
| 324 | Капролактан, лактам ε-амінокапронової кислоти | $C_6H_{11}ON$ | 3604 |
| 325 | Капрон | | 31087 кДж/кг |
| 326 | Каучук бутадієнстирольний СКС-3ОАР | | 43932 |
| 327 | Кетен, карбометилен, етенон | C_2H_2O | 22803 кДж/кг |
| 328 | Клепка букова для паркету | | 17363,6 кДж/кг |
| 329 | Фарбник яскраво червоний Ж | $C_{16}H_{18}O_3N_4$ | 8932,8 |
| 330 | Фарбник дисперсний жовтий "3" (основа) | $C_{15}H_{14}O_2N_3$ Na | 258 |
| 331 | Фарбник дисперсний жовтий 35-72Ф ПЕ | $C_{23}H_{12}O_2N_2$ | 8687 |
| 332 | Фарбник дисперсний жовтий 276-69Ф ПЕ | $C_{27}H_{18}O_3N_4$ | 13415 |
| 333 | Фарбник дисперсний помаранчевий 4К | $C_{20}H_{18}O_3N_4$ | 21715 кДж/кг |
| 334 | Фарбник дисперсний синьо-зелений (основа) | $C_{18}H_{18}O_6N_2$ | 23472 кДж/кг |
| 335 | Фарбник дисперсний синій 7-74 п/е | $C_{20}H_{17}O_5N_3$ | 9206 |
| 336 | Фарбник дисперсний яскраво-рожевий (основа) | $C_{15}H_{12}O_3N_2$ | 6746 |
| 337 | Фарбник дисперсний яскраво-фіолетовий 64-73Ф | $C_{18}H_{15}O_5N$ | 25773 кДж/кг |
| 338 | Фарбник жиророзчинний синій антрахіноновий | $C_{32}H_{30}O_2N_2$ | 16900 |
| 339 | Фарбник кубовий золотисто-жовтий ЖХ | $C_{24}H_{12}O_2$ | 8157 |
| 340 | Фарбник кубовий коричневий КД, 40%-ий | $C_{42}H_{23}O_6N_3$ | 13970 |
| 341 | Фарбник прямий яскраво-червоний | $C_{35}H_{25}O_{10}$ $N_7S_2Na_2$ | 11067 кДж/кг |
| 342 | о-крезол, 2-метилфенол, о-гідрокситолуол | C_7H_8O | 3569 |

| | | | |
|-----|---|-------------------|--------------------------------|
| 343 | n-крезол, 4-метилфенол, 1-гідрокси-4-метилбензол | C_7H_8O | 3573 |
| 344 | Кротонова кислота, бутеновая, пропіленкарбонова, β -метакрилова | $C_4H_6O_2$ | 2011 |
| 345 | Кротоновий альдегід, 2-бутеналь, β -метилакролаїн, пропілен-альдегід | C_4H_6O | 2219 |
| 346 | m-код-ксилол, 1,3-диметилбензол, 3-ксилол | C_8H_{10} | 5608,9 |
| 347 | o-ксилол, 1,2-диметилбензол | C_8H_{10} | 4376 |
| 348 | p-ксилол, 1,4-диметилбензол | C_8H_{10} | 4375 |
| 349 | Кумол, ізопропілбензол, 2-фенілпропан | C_9H_{12} | 5608,9 |
| 350 | Лауриновий альдегід, додеканаль | $C_{12}H_{24}O$ | 7226 |
| 351 | Левоамін, трео-1-(n-нітрофеніл)-2-амінопропан-1,3-диол, | $C_9H_{12}O_4N_2$ | 107 |
| 352 | d,l-Лімонен, (\pm) -лімонен, 1,8-ментадієн, дипентен, цинен, 1-метил-4-ізопропенілциклогексен | $C_{10}H_{16}$ | 5900 |
| 353 | Літій | Li | 43221 кДж/кг |
| 354 | Літія гідрид | LiH | 392,3 |
| 355 | Мазут | | 38074 \pm 41840 кДж/кг |
| 356 | Мезитилоксид, оксид мезитилу, 4-метил-3-пентен-2-он, ізопропіліденацетон | $C_6H_{10}O$ | 3426 |
| 357 | Метакрилова кислота, 2-метилпропенова кислота, α -метилакрилова кислота | $C_4H_6O_2$ | 2011 |
| 358 | Металіловий спирт, 2-метил-2-пропенол, ізобутенол | C_4H_8O | 2549,7 |
| 359 | Метан | CH_4 | 802 |
| 360 | Метантиол | CH_4S | 1520,8 |
| 361 | Метилаль, диметоксиметан, формаль | $C_3H_8O_2$ | 1772 |
| 362 | Метиламін, амінометан | CH_5N | 1034 |
| 363 | n-Метиланізол, метокси-4-метилбензол, n-крезілметиловий ефір, метил-n-крезол, n-метокситолуол | $C_8H_{10}O$ | 4285 |
| 364 | o-Метиланізол, 1-метокси-2-метилбензол | $C_8H_{10}O$ | 4260 |
| 365 | Метилацетат, метиловий ефір оцтової кислоти | $C_3H_6O_2$ | 1472,2 |
| 366 | Метилбензоат, метиловий ефір бензойної | $C_8H_8C_2$ | 3957,6 |

| | КИСЛОТИ | | |
|-----|---|-------------------------------|--------|
| 367 | 2-Метилбіфеніл, 2-метилдифеніл | $C_{13}H_{12}$ | 6720 |
| 368 | 2-метил-2-бутен, триметилетилен β -ізоамілен | C_5H_{10} | 3175 |
| 369 | 3-метил-1-бутен, ізопропілетилен α -ізоамілен | C_5H_{10} | 3143 |
| 370 | 2-Метил-1-бутен-3-ол | $C_5H_{10}O$ | 3190 |
| 371 | Метил-трет-бутиловий ефір | $C_5H_{12}O$ | 3126 |
| 372 | 3-метил-1-бутил-3-ол | C_5H_8O | 3051 |
| 373 | 2-Метилгексан, ізогептан | C_7H_{16} | 4494 |
| 374 | 2-Метилгептан, ізооктан | C_8H_{18} | 5109 |
| 375 | Метилгептаноат, метиловий ефір гептанової кислоти, метиловий ефір енантової кислоти | $C_8H_{16}O_2$ | 4866 |
| 376 | 2-Метилдекан, ізоундекан | $C_{11}H_{24}$ | 6954 |
| 377 | 2-метиліндол | C_9H_9N | 4797 |
| 378 | Метиллактат, метил 2-гідроксипропіонат | $C_4H_8O_3$ | 2106,2 |
| 379 | 1-Метилнафталін α -метилнафталін | $C_{11}H_{10}$ | 5620 |
| 380 | 2-Метилнонан, ізодекан | $C_{10}H_{22}$ | 6338 |
| 381 | Метиловий спирт, метанол, деревний спирт | CH_4O | 763,8 |
| 382 | 2-Метилоктадециламіно-5'-сульфоанлід 1-гідрокси-4-(4"-гідрокси- 2"-хлорфенілазо)-2-нафтоїної кислоти | $C_{39}H_{55}O_6$ H_4SCl | 21 903 |
| 383 | 2-Метилоктан, ізононан | C_9H_{20} | 5724 |
| 384 | 3-Метилоктан | C_9H_{10} | 5727 |
| 385 | 4-Метилоктан | C_9H_{20} | 5727 |
| 386 | 2-Метилпентальдегід, 2-метилпентаналь, 2-метилвалеральдегід | $C_6H_{12}O$ | 3562,9 |
| 387 | 3-Метилпентан, 2-етилбутан | C_6H_{14} | 3882 |
| 388 | 2-Метил-1,3-пентандіол | $C_6H_{14}O_2$ | 3740 |
| 389 | 2-Метил-2,4-пентандіол, гексиленгліколь | $C_6H_{14}O_2$ | 3793 |
| 390 | 2-Метилпентанова кислота, 2-метилвалеріанова кислота, метилпропілоцтова кислота, пентан-2-карбонова кислота | $C_6H_{12}O_2$ | 3286 |
| 391 | 2-Метил-2-пентанол | $C_6H_{14}O$ | 3990,7 |
| 392 | 4-Метил-2-пентанол, метиламіловий спирт, метилізобутилкарбінол, МІБС, МІС | $C_6H_{14}O$ | 3923,8 |
| 393 | 2-Метил-1-пентен, метилпропілетилен | C_6H_{12} | 3752 |
| 394 | 2-метил-2-пентен | C_6H_{12} | 3747 |
| 395 | 3-Метил-1-пентинол | $C_6H_{10}O$ | 3709,8 |
| 396 | 2-Метилпіридин α -піколін | C_6H_7N | 3419 |

| | | | |
|-----|--|--------------------|-------------------|
| 397 | -Метил-2-пірролідон, N-метил α -пірролідон, N-метил- γ -бутиролактан, 1-метил-5- пірролідіон | C_5H_9ON | 2991 |
| 398 | 2-Метилпропеналь, метакриловий альдегід, α -метиладельон | C_4H_6O | 2219 |
| 399 | Метилпропілкетон, 2-пентанон | $C_5H_{10}O$ | 2918 |
| 400 | ефір Метилпропіловий, 1-метоксипропан | $C_4H_{10}O$ | 2545,5 |
| 401 | Метилпропіонат, метиловий ефір пропіонової кислоти | $C_4H_8O_2$ | 2308,6 |
| 402 | Метилсаліцилат, метиловий ефір саліцилової кислоти | $C_8H_8C_3$ | 3759 |
| 403 | Метилформіат, метиловий ефір мурашиної кислоти | $C_2H_4O_2$ | 1007,3 |
| 404 | Метилцелозольв, 2-метоксиетанол, метилгліколь монометиловий ефір етилгліколя, метилетилгліколь | $C_3H_8O_2$ | 1747 |
| 405 | Метилциклогексан | C_7H_{14} | 4293 |
| 406 | Метилциклогексанол, метилгексалін, гексагідрометилфенол | $C_7H_{14}O$ | 4343 |
| 407 | 4-Метилциклогексен | C_7H_{12} | 2826 |
| 408 | Метилциклогексилацетат, метилциклогексильовий ефір оцтової кислоти | $C_9H_{16}O_2$ | 5080 |
| 409 | Метилциклопентадієн | C_6H_8 | 3470 |
| 410 | Метилциклопентан | C_6H_{12} | 3705 |
| 411 | Метилетилкетону пероксид | | 19037 кДж/кг |
| 412 | Метилетиловий ефір, метоксиетан | C_3H_8O | 2107,4 |
| 413 | 2-Метил-3-етилпентан, диетилізопропілметан | C_8H_{18} | 5113 |
| 414 | 4-Метил-2-етилпентанол, 2-етилізогексанол, 2- етил-4-метилпентанол | $C_8H_{18}O$ | 5334 |
| 415 | 2-Метил-7-етил-4-ундеканол | $C_{14}H_{30}O$ | 9280,4 |
| 416 | 1 -Метокси-1,1,2-трифтор-2-хлоретан, α , α , β - трифтор- β хлоретилметиловий ефір | $C_3H_4OF_3$ Cl | 1590 |
| 417 | Метоксиетилацетат, метилцеллозольвацетат, метилгліколяцетат | $C_5H_{10}O_3$ | 2822,7 |
| 418 | Міпора | | 17405,4 кДж/кг |
| 419 | Сечовина, карбамід | CH_4ON_2 | 553 |

| | | | |
|-----|---|---|------------------|
| 420 | Борошно пшеничне | | 16807 |
| 421 | Мурашина кислота, метанова кислота | CH_2O_2 | 210,6 |
| 422 | Натрієва сіль 1-(4-фенокси-3-сульфофеніл)-3-стеароїламіно- 4-(3,5-диметил-4-піразолілазо)-5-піразолон | $\text{C}_{38}\text{H}_{52}\text{N}_7$ NaO_6S | 21924 |
| 423 | Натрієва сіль 1-(4-фенокси-3-сульфофеніл)-3-стеароїламіно- 4-(4-гідрокси-2-хлорфенілазо)-5-піразолон | $\text{C}_{39}\text{H}_{49}\text{Cl}$ $\text{N}_5\text{NaO}_7\text{S}$ | 21340 |
| 424 | Нафталін | C_{10}H_8 | 5050 |
| 425 | 1-Нафтілхлоркарбонат, хлорвугільний ефір α -нафтола | $\text{C}_{11}\text{H}_7\text{ClO}$ 2 | 5070 |
| 426 | α -Нафтол | $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}$ | 4910 |
| 427 | β -Нафтол, β -гідроксинафталін, β -оксинафталін | $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}$ | 4910 |
| 428 | Нікотин | $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2$ | 5975 |
| 429 | 3-Нітроанілін, μ -нітроанілін, 1-аміно-3-нітробензол | $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2$ | 2991 |
| 430 | 4-Нітроанілін, n -нітроанілін, 1-аміно-4-нітробензол | $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2$ | 3062 |
| 431 | 4-Нітросо-3,5-диметилпіразол | $\text{C}_5\text{H}_7\text{ON}_3$ | 3099 |
| 432 | Нітролінолеум НЛ-13/3 | | 8355,4 кДж/кг |
| 433 | Нітрометан | $\text{CH}_3\text{O}_2\text{N}$ | 12054 кДж/кг |
| 434 | Нонадекан | $\text{C}_{19}\text{H}_{40}$ | 11878 |
| 435 | Нонан | C_9H_{20} | 5731 |
| 436 | Нонандінова кислота, азелаїнова кислота | $\text{C}_9\text{H}_{16}\text{O}_4$ | 4779 |
| 438 | Нонілацетат, ноніловий ефір оцтової кислоти | $\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}_2$ | 6307 |
| 439 | Нонілбензол | $\text{C}_{15}\text{H}_{24}$ | 8682,1 |
| 440 | Нонілнафталін | $\text{C}_{19}\text{H}_{26}$ | 10600 |
| 441 | Ноніловий спирт, 1-нонанол | $\text{C}_9\text{H}_{20}\text{O}$ | 6104 |
| 442 | Нонілпропіонат, ноніловий ефір пропіонової кислоти | $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$ | 6912 |
| 442 | Нонілформіат, ноніловий ефір мурашиної кислоти | $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$ | 5703,2 |
| 443 | Оксид вуглецю, монооксид вуглецю | CO | 283 |
| 444 | 1-Октадеканол, стеариловий спирт | $\text{C}_{18}\text{H}_{38}\text{O}$ | 11944,6 |
| 445 | Октан | C_8H_{18} | 5116 |

| | | | |
|-----|---|-------------------|-------------------------------|
| 446 | Октаналь, каприлальдегід, каприловий альдегід, октіловий альдегід | $C_8H_{16}O$ | 4793 |
| 447 | 1,8-Октандіо ва кислота - | $C_8H_{14}O_4$ | 4047 |
| 448 | 4,5-Октандіол, октиленгліколь | $C_8H_{18}O_2$ | 4800 |
| 449 | Октанова (каприлова) кислота | $C_8H_{16}O_2$ | 4447 |
| 450 | Октен-1, октілен, капрілен | C_8H_{16} | 4998 |
| 451 | Октилацетат, октиловий ефір оцтової кислоти | $C_{10}H_{20}O_2$ | 5703,2 |
| 452 | Октилбутират, октилбутаноат, октиловий ефір масляної кислоти | $C_{12}H_{24}O_2$ | 6912 |
| 453 | Октиловий спирт, 1-октанол спирт | $C_8H_{18}O$ | 5360 |
| 454 | Втор-октиловий, 2-октанол | $C_8H_{18}O$ | 5280,2 |
| 455 | Октилпропіонат, октиловий ефір пропіонової кислоти | $C_{11}H_{22}O_2$ | 6307,6 |
| 456 | Октилформіат, октиловий ефір мурашиної кислоти | $C_9H_{18}O_2$ | 5099,4 |
| 457 | н-Октилциклогексан Пентадекан | $C_{14}H_{28}$ | 8599 |
| 458 | Тирса соснова | | 18618,8 кДж/кг |
| 459 | Пінопласт ПВХ-1 | | 18352,9- 19493,2 кДж/кг |
| 460 | Пінопласт ПСБ | | 41630,8 кДж/кг |
| 461 | Пінопласт ПСБ-С | | 41212,4 кДж/кг |
| 462 | Пінопласт ПВХ-1-115 | | 18325- 19493 кДж/кг. |
| 463 | Пінопласт ФС-7 | | 24409,4 кДж/кг |
| 464 | Пінопласт ФФ | | 31384/18 кДж/кг |
| 465 | Пінополістирол ПСБ | | 41630,8 кДж/кг |
| 466 | Пінополіуретан | | 24853- 27363 кДж/кг |
| 467 | Пентадекан | $C_{15}H_{32}$ | 9419 |

| | | | |
|-----|---|-------------------|---------------------|
| 468 | 1,2,3,4,5-Пентаметилбешол | $C_{11}H_{16}$ | 6224,7 |
| 469 | Пентан | C_5H_{12} | 3272 |
| 470 | 2-Пентанол, 1-метилбутанол, метилпропілкарбінол | $C_5H_{12}O$ | 3368,5 |
| 471 | 3-Пентанол, втор-аміловий спирт, втор- пентиловий спирт, 1-етилпропанол, діетилкарбінол | $C_5H_{12}O$ | 3366 |
| 472 | 1-Пентантиол, амілмеркаптан, пентилмеркаптан | $C_5H_{12}S$ | 4135 |
| 473 | 1-пентен, амілен, пропілетилен | C_5H_{10} | 3154 |
| 474 | Пергідроантрацен | $C_{14}H_{24}$ | 8250 |
| 475 | Пероксид лауроїлу, лауроїлпероксид | $C_{24}H_{46}O_4$ | 14510 |
| 476 | Пероксид метилетилкетону | $C_8H_{16}O_4$ | 3354 |
| 477 | Перуксусна кислота, надоцтова кислота, ацетилгідропероксид | $C_2H_4O_3$ | 975 |
| 478 | Пігмент денний флуоресцентний жовтий 1167 | | 23890 кДж/кг |
| 479 | Пігмент денний флуоресцентний червоний для поліетилену | | 26777 кДж/кг |
| 480 | Пігмент денний флуоресцентний помаранчево- червоний 1062 | | 23514 кДж/кг |
| 481 | Пігмент денний флуоресцентний пурпурний для поліетилену | | 25271 кДж/кг |
| 482 | Пігмент денний флуоресцентний пурпурний 162-П | | 25689 кДж/кг |
| 483 | Пігмент денний флуоресцентний яскраво- рожевий № 1150 | | 24099 кДж/кг |
| 484 | Пімелінова кислота, пілерінова кислота, 1,7- гептандіова кислота, 1,5-пентандикарбонова кислота | $C_7H_{12}O_4$ | 3453,5 |
| 485 | Піперидин, гексагідропіридин, пентаметиленімін | $C_5H_{11}N$ | 3451 |
| 486 | Піридин | C_5H_5N | 2322 |
| 487 | Пірол, азол, | C_4H_5N | 2351 |
| 488 | Плита асбестебонітова | | 23434 кДж/кг |
| 489 | Плита деревенистоволокниста | | 17334,3- 20890,7 |

| | | | |
|-----|--|--|---------------------------|
| | | | кДж/кг |
| 490 | Плита мінераловатна з вмістом бітуму 19% мас. | | 11077 кДж/кг |
| 491 | Плитка кумаронополівінілхлоридна | | 11495 кДж/кг |
| 492 | Плитка полівінілхлоридна | | 13389 кДж/кг |
| 493 | Плитка полістирол | | 41840 кДж/кг |
| 494 | Поліакрилонітрил, полівінілціанід | | 31087 кДж/кг |
| 495 | Полівініліденхлорид | | 972 |
| 496 | Полівініловий спирт, | $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-]_n$ | 25166 кДж/кг |
| 497 | Поліізобутилен, | $(\text{C}_4\text{H}_6)_n$ | 2627 |
| 498 | Поліметилметакрилат | $(\text{CH}_2\text{C}(\text{CH}_3)\text{CO}_2\text{CH}_3)_n$ | 2668 |
| 499 | Поліпропілен | $(-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) -)_n$ | 44000 кДж/кг |
| 500 | Полістирол | | 39800- 40700 кДж/кг |
| 501 | Поліетилен | $[-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -]_n$ | 46588 кДж/кг |
| 502 | Поліетилен високого тиску | | 46000- 47000 кДж/кг |
| 503 | Поліетилен низького тиску | | 46090- 46686 кДж/кг |
| 504 | Поропласт пінополіуретановий еластичний | | 23263 кДж/кг |
| 505 | Пробка мінеральна | | 7974 кДж/кг |
| 506 | Пропан | C_3H_8 | 2044 |
| 507 | Пропаналь, пропіоновий альдегід, пропанальдегід | $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ | 1816 |

| | | | |
|-----|---|----------------------|---------------------|
| 508 | Пропандіова кислота, малонова, метандикарбонова кислота | $C_3H_4O_4$ | 861 |
| 509 | 1-пропанол, пропіловий спирт, етилкарбінол | C_3H_8O | 2067,4 |
| 510 | n-Пропіламін, N-амінопропан | C_3H_9N | 2365,2 |
| 511 | Пропілбензол, 1-фенілпропан | C_9H_{12} | 4996,9 |
| 512 | 2- Пропілбіфеніл | $C_{15}H_{16}$ | 7950 |
| 513 | Пропіленгліколь, 1,2-пропандіол, 1,2-дигідроксипропан | $C_3H_8O_2$ | 1821,6 |
| 514 | Пропілформіат, пропіловий ефір мурашиної кислоти | $C_4H_8O_2$ | 2078 |
| 515 | n-Пропілциклогексан, 1-циклогексилпропан | C_9H_{16} | 5525 |
| 516 | n-Пропілциклопентан, 1-циклопентілпропан | C_8H_{16} | 4935 |
| 517 | Пропілетилкетон, 3-гексанон | $C_6H_{12}O$ | 3539 |
| 518 | Пропін, алілен, метилацетилен | C_3H_4 | 1939 |
| 519 | β -Пропіолактон, лактон 3-гідроксипропанової кислоти | $C_3H_4O_2$ | 1422 |
| 520 | Пропіонілхлорид, хлористий пропіоніл, хлорангідрохлорид пропіонової кислоти | C_3H_6OCl | 1244 |
| 521 | Пропіонова кислота, пропанова кислота, метилоцтова кислота | $C_3H_6O_2$ | 1395 |
| 522 | Пропіоновий ангідрид, пропановий ангідрид, ангідрид пропіонової кислоти | $C_6H_{10}O_3$ | 3277,7 |
| 523 | Резорцин, резорцинол, м-код-діоксибензол, 1,3-дигідроксибензол | $C_6H_6O_2$ | 2808 |
| 524 | Рубідій, | Rb | 173,4 |
| 525 | Сажа канална | | 15648-28326 кДж/ кг |
| 526 | Саліцилова кислота, 2-гідроксибензойна кислота, о-карбоксіфенол | $C_7H_6O_3$ | 3022,5 |
| 527 | Цукор, сахароза | $C_{12}H_{22}O_{11}$ | 5640 |
| 528 | Сіно | | 16652,32 кДж/кг |
| 529 | Сірка | S | 9205 кДж/кг |
| 530 | Сірковуглець | CS_2 | 14020 кДж/кг |
| 531 | Сорбінова кислота, 2,4-гексадієнова | $C_6H_8O_2$ | 312,9 |

| | | | |
|-----|--|---------------------|-------------------|
| 532 | L-сорбоза | $C_6H_{12}O_6$ | 2806 . |
| 533 | Стеаринова кислота октадеканова кислота | $C_{18}H_{36}O_2$ | 10488 |
| 534 | Стирол, вінілбензол, етенілбензол, фенілетилен | C_8H_8 | 4438,8 |
| 535 | Стронцій | Sr | 5644 кДж/кг |
| 536 | Сульфол, гексахлордіамілсульфід, біс(5,5,5-трихлораміл) сульфід | $C_{10}H_{16}C_6S$ | 13807 кДж/кг |
| 537 | n-Сульфофенілгідразин | $C_6H_8O_3N_2$ S | 2087 |
| 538 | Текстоліт марки А | | 22430 кДж/кг |
| 539 | Текстоліт марки ДЦ | | 23982,7 кДж/кг |
| 540 | Терефталева кислота, 1,4-бензолдикарбонова кислота, n-фталъова кислота, бензол-n-дикарбонова кислота | $C_8H_6O_4$ | 3221,68 |
| 541 | 1,2,3,4-Тетрагідронафталін, тетралін, | $C_{10}H_{12}$ | 5410 |
| 542 | Тетрагідрофуран, тетраметиленоксид, діетиленоксид | C_4H_8O | 2504 |
| 543 | Тетрадекан | $C_{14}H_{30}$ | 8804 |
| 544 | 1-Тетрадецен, а-тетрадецилен | $C_{14}H_{28}$ | 8682 |
| 545 | Тетрадециловий спирт, 1-тетрадеканол, міристиновий спирт | $C_{14}H_{30}O$ | 9620,8 |
| 546 | 1,2,3,4-Тетраметилбешол, пренітол | $C_{10}H_{14}$ | 5608,9 |
| 547 | 2,2,3,3-Тетраметилгептан | $C_{11}H_{24}$ | 6954 |
| 548 | 2,2,3,4-Тетраметилпентан | C_9H_{20} | 5723 |
| 549 | 1,1,1,7-Тетрахлоргептан | $C_7H_{12}Cl_4$ | 3492 |
| 550 | Тетрахлордіізопропіловий ефір | $C_6H_{10}OC_14$ | 2757 |
| 551 | 1,1,1,5-Тетрахлорпентан | $C_5H_8Cl_4$ | 1715 |
| 552 | 1,1,1,3-Тетрахлорпропан | $C_3H_4Ol_4$ | 7112 |
| 553 | 1,1,2,3-Тетрахлорпропен | $C_3H_2Cl_4$ | 919 |
| 554 | Тіодивалеріанова кислота | $C_{10}H_{18}O_4S$ | 25171 кДж/кг |
| 555 | 2,4-Толуїлендіізоціанат, 2,4-діізоціанатометилбензол | $C_9H_6O_2N_2$ | 4250 |
| 556 | 2,6-Толуїлендіізоціанат, 2,6-діізоціанатометилбензол | $C_9H_6O_2N_2$ | 4250 |
| 557 | μ-Толуїлова кислота, 3-метилбензойная | $C_8H_8C_2$ | 3885 |

| | кислота | | |
|-----|---|--------------------|------------------|
| 558 | Толуол, метилбензол, фенілметан | C_7H_8 | 3771,88 |
| 559 | Паливо Т-5 | | 42886 кДж/кг |
| 560 | Торф фрезерний | | 10 439 кДж/кг |
| 561 | Трибутилфосфат, три-н-бутиловий ефір фосфорної кислоти | $C_{12}H_{27}O_4P$ | 191А |
| 562 | Тридекан | $C_{13}H_{28}$ | 8190 |
| 563 | 1-Тридеканол, тридециловий спирт | $C_{13}H_{28}O$ | 8630,7 |
| 564 | Триметиламін | C_3H_9N | 1986 |
| 565 | 1,2,3-триметилбензол | C_9H_{12} | 4993 |
| 566 | 1,3,5-триметилбензол | C_9H_{12} | 4993 |
| 567 | 2,2,3-Триметилбутан, триптан | C_7H_{16} | 4484 |
| 568 | 2,2,5-Триметилгексан | C_9H_{20} | 5705 |
| 569 | 2,3,3-Триметилгексан | C_9H_{20} | 5721 |
| 570 | 2,3,4-Триметилгексан | C_9H_{20} | 5725 |
| 571 | 3,3,4-Триметилгексан | C_9H_{20} | 5724 |
| 572 | 2,5,5-Триметилгептан | $C_{10}H_{22}$ | 6326 |
| 573 | 2,6,8-Триметил-4-нонанол | $C_{12}H_{26}O$ | 7957,4 |
| 574 | 2,6,8-Триметил-4-нонанон, ізобутилгептілкетон | $C_{12}H_{24}O$ | 7312,3 |
| 575 | 2,2,3-Триметилпентан | C_8H_{18} | 5104 |
| 576 | 2,2,4-Триметилпентан, ізобутилтриметилметан | C_8H_{18} | 5100 |
| 577 | Трифенілметан | $C_{19}H_{16}$ | 9660 |
| 578 | Трифенілфосфат, трифеніловий ефір фосфорної кислоти | $C_{18}H_{25}O_4P$ | 9322 |
| 579 | 3,3,3-Трифторпропілен | $C_3H_3F_3$ | 1366 |
| 580 | Трифторхлорпропан, 1,1,1-трифтор-3-хлорпропан, Хладон 253 | $C_3H_4ClF_3$ | 1275 |
| 581 | Трифторетиламін, 2,2,2-трифторетиламін | $C_2H_4F_3N$ | 1014 |
| 582 | 1,1,2-Трифторетилен, етілтрифторид | C_2HF_3 | 816 |
| 583 | 1,2,3-Трихлорбутан | $C_4H_7Cl_3$ | 1895 |
| 584 | 1,1,3-Трихлор-1-пропен | $C_3H_3Cl_3$ | 1169 |
| 585 | 1,1,1-трихлоретан, метилхлороформ | $C_2H_3Cl_3$ | 925 |
| 586 | Триетиламін | $C_6H_{15}N$ | 3703 |
| 587 | 1,2,4-Триетилбензол | $C_{12}H_{18}$ | 6840 |
| 588 | 1,1,3-Триетоксибутан | $C_{10}H_{22}O_3$ | 5992,9 |
| 589 | Триетоксиметан, триетилортоформіат | $C_7H_{16}O_3$ | 4319 |

| | | | |
|-----|---|-----------------------------|-----------------|
| 590 | Триетоксисилан | $C_6H_{16}O_3Si$ | 4184 |
| 591 | Вугілля деревне | | 33890 кДж/кг |
| 592 | Оцтова кислота, етанова кислота | $C_2H_4O_2$ | 786,5 |
| 593 | Оцтовий ангідрид, етановий ангідрид | $C_4H_6O_3$ | 1969 |
| 594 | Ундециловий альдегід, ундеканаль | $C_{11}H_{22}O$ | 2072,7 |
| 595 | Феназон, 4-аміно-1-феніл-5-хлор-6-піридазон | $C_{10}H_8ON_3C$ 1 | 5440 |
| 596 | Фенілбензоат, феніловий ефір бензойної кислоти | $C_{13}H_{10}O_2$ | 6260 |
| 597 | N-Феніл-2-нафтїламін, N-(2-нафтил) анілін, 2-анілінонафталін | $C_{16}H_{13}N$ | 8200 |
| 598 | 4-фенілфенол, п-біфенол, 4-гідрокси-1,Г-біфеніл | $C_{12}H_{10}O$ | 5950 |
| 599 | N-Феніл-п''-(β-ціаноетил) -п-фенілендіамід, N-феніл-п''-(2-ціаноетил)-1,4-фенілендіамін | $C_{15}H_{15}N_3$ | 8130 |
| 600 | Фенілциклогексан, циклогексилбензол | $C_{12}H_{16}$ | 6650 |
| 601 | Фенілетиловий ефір, етоксидбензол, фенетол | $C_8H_{10}O$ | 4272,8 |
| 602 | 1-(4''-Феноксид-3''-сульфофеніл)-3-амінопіразолон-5 | $C_{15}H_{13}O_5$ N_3S | 7273 |
| 603 | 1-(4''-Феноксид-3''-сульфофеніл)-3-(N-стеароїламіно) піразолон-5 | $C_{33}H_{47}O_6$ N_3S | 18811 |
| 604 | N-(P-Феноксидетил) анілін | $C_{14}H_{15}O$ | 7390 |
| 605 | Фенол, гідроксидбензол, карболова кислота | C_6H_6O | 2992,3 |
| 606 | Фентіазин, фенотіазин, дібензотіазин, тіодифеніламін | $C_{12}H_9NS$ | 6866 |
| 607 | 2-Флуоренонілгліоксальгідрат | $C_{15}H_{10}O_4$ | 28870 кДж/кг |
| 608 | Формальдегід, метаналь, мурашиний альдегід, оксометан | CH_2O | 570,78 |
| 609 | Форон, 2,6-диметил-2,5-гептадієн -4-он, діізопропіліденацетон | $C_9H_{14}O$ | 4709 |
| 610 | о-фталева кислота, 1,2-бензолдикарбонова кислота | $C_8H_6O_4$ | 3223,5 |
| 611 | 2-фтор-1,1,2-трихлоретан, 1,1,2-трихлор-2-фторетан хладон-131 | $C_2H_2FCl_3$ | 240 |
| 612 | Фуразолідон, 1-(5-нітро-2-фурфуриліден)-3-аміно-2-оксазолідон | $C_8H_7O_5N_3$ | 3862 |
| 613 | 2-Фуральдегід, фуранальдегід, фурфурол, | $C_5H_4O_2$ | 2339,3 |

| | фурфураль | | |
|-----|--|----------------|--------------------|
| 614 | Фуран, фурфуран, 1,4-епокси-1,3-бутадиєн, | C_4H_4O | 2082 |
| 615 | 2,5-Фурандіон, малеїновий ангідрид, ангідрид малеїнової кислоти | $C_4H_2O_3$ | 1389 |
| 616 | 2-Фурилметанол, фурфуриловий спирт, 2-фуранметанол, фурфурилкарбінол | $C_5H_6O_2$ | 2548 |
| 617 | n-Хлорбензальдегід, 4-хлорбензальдегід | C_7H_5ClO | 3482 |
| 618 | Хлорбензол, фенілхлорид | C_6H_5Cl | 3074,6 |
| 619 | 1-Хлорбутан, бутилхлорид | C_4H_9Cl | 2485 |
| 620 | 2-хлор-4-фенілфенол, 2-хлорбіфеніл | $C_{12}H_9ClO$ | 5790 |
| 621 | Хлоретан, етилхлорид, хлоретил, етил хлористий | C_2H_5Cl | 1251 |
| 622 | Цезій | Cs | 175,8 |
| 623 | Целулоїд | | 16318-20502 кДж/кг |
| 624 | Циклобутан | C_4H_8 | 2544 |
| 625 | Циклогексан | C_6H_{12} | 3689 |
| 626 | Циклогексанон | $C_6H_{10}O$ | 3344 |
| 627 | Циклогексен | C_6H_{10} | 3565 |
| 628 | Циклогептан | C_7H_{14} | 4328 |
| 629 | Циклооктан | C_8H_{16} | 4957 |
| 630 | Циклопентадиєн | C_5H_6 | 2829 |
| 631 | Циклопентан | C_5H_{10} | 3071 |
| 632 | Циклопентанол | $C_5H_{10}O$ | 2936 |
| 633 | Циклопентен | C_5H_8 | 2968 |
| 634 | Циклопропан | C_3H_6 | 2091 |
| 635 | N-цимол, 1-ізопропіл-4-метилбешол, n-ізопропілтолуол | C_9H_{12} | 5614 |
| 636 | Ейкозан | $C_{20}H_{42}$ | 12490 |
| 637 | Енант (волокно) | | 32079 кДж/кг |
| 638 | Енантова кислота, n-гептанова кислота | $C_7H_{14}O_2$ | 3837,5 |
| 639 | α-Епіхлоргідрин, 1-хлор-2,3-епоксипропан, 2-хлорпропіленоксид | C_3H_5ClO | 1660 |
| 640 | 1,2-Епоксибутан, бутиленоксид | C_4H_8O | 2430 |
| 641 | 3,4-Епокси-1-бутен, бутадиєнмонооксид, вінілетіленоксид | C_4H_6O | 2320 |

| | | | |
|-----|---|-------------------|-----------------|
| 642 | 2,3-Епоксид-2-метилбутан | $C_5H_{10}O$ | 3050 |
| 643 | 1,2-Епоксид-2-метилпропан | C_4H_8O | 2430 |
| 644 | 1,2-Епоксидетан, етиленоксид | C_2H_4O | 1220 |
| 645 | Епоксидетилбензол, стирилоксид | C_8H_8O | 4160 |
| 646 | Етан, Етилбензол, фенілетан | C_2H_6 | 1576 |
| 647 | Етанол, етиловий спирт, винний спирт | C_2H_6O | 1408 |
| 648 | Етантіол, етилмеркаптан | C_2H_6S | 2173 |
| 649 | Етиламін, аміноетан | C_2H_7N | 1421,6 |
| 650 | N-Етил-n-бензиланілін | $C_{15}H_{17}N$ | 8140 |
| 651 | Етилбензоїлбензоат, етиловий ефір бензоїлбензойної кислоти | $C_{16}H_{14}O_3$ | 7770 |
| 652 | Етилбензол, фенілетан | C_8H_{10} | 4386,9 |
| 653 | n-Етилбешолсульфофторид | $C_7H_9FO_2S$ | 23723 кДж/кг |
| 654 | 2-Етилбіфеніл | $C_{14}H_{14}$ | 7330 |
| 655 | 2-етил-1-бутанол, 3-метилолпентан, спирт псевдогексилу | $C_6H_{14}O$ | 4035 |
| 656 | Етилбутиловий ефір, етоксидбутан | $C_6H_{14}O$ | 3772 |
| 657 | 2-Етилбутиральдегід, 2-етилбутаналь, диетилацетальдегід | $C_6H_{12}O$ | 3562 |
| 658 | Етилбутират, етиловий ефір масляної кислоти | $C_6H_{12}O_2$ | 3285 |
| 659 | 2-Етилгексанова кислота, бутилетилоцтова кислота етилкапронова кислота, гептан-3- карбонова кислота | $C_8H_{16}O_2$ | 4514,5 |
| 660 | 2-Етилгексильовий спирт, 2-етил-1-гексанол | $C_8H_{18}O$ | 5287,6 |
| 661 | 2-Етилгексильовий ефір | $C_{16}H_{34}O$ | 9908 |
| 662 | 2-Етилгексилцеллозольв, 2-етилгексильовий ефір етилгліколя | $C_{10}H_{22}O_2$ | 6072 |
| 663 | Етилдифеніловий ефір | $C_{14}H_{14}O$ | 7219 |
| 664 | Етилен, етен | C_2H_4 | 1318 |
| 665 | Етиленгліколь, 1,2-етандіол, гліколь | $C_2H_6O_2$ | 1199,7 |
| 666 | Етиленімін, азиридин | C_2H_5N | 1480 |
| 667 | Етилмасляна кислота, етилбутанова кислота, етилбутилова кислота, діетилоцтова кислота | $C_6H_{12}O_2$ | 3286 |
| 668 | 2- 1-Етилнафталін, α -етилнафталін | $C_{12}H_{12}$ | 6300 |
| 669 | Етилнафтіловий ефір | $C_{12}H_{12}O$ | 6162 |
| 670 | Етиловий ефір ціаноцтової кислоти, етилціаноацетат | $C_5H_7O_2N$ | 2630 |

| | | | |
|-----|---|-----------------------|---------|
| 671 | 2-Етилоктадециламіно-5-сульфоанлід 1-гідрокси-2-нафтоїної кислоти | $C_{36}H_{52}N_2O_5S$ | 20285 |
| 672 | 2-Етилоктан | $C_{10}H_{22}$ | 6339 |
| 673 | 3-Етилоктан | $C_{10}H_{22}$ | 6344 |
| 674 | 4-Етилоктан | $C_{10}H_{22}$ | 6344 |
| 675 | Етилпропеніловий ефір, 1-етоксипропен | $C_5H_{10}O$ | 3035 |
| 676 | 2-Етил-3-пропілакролеїн, 2-етил-2-гексеналь, Р-пропіл-а-етилакролеїн | $C_8H_{14}O$ | 4679 |
| 677 | Етилпропіловий ефір, етоксипропан | $C_5H_{12}O$ | 3158 |
| 678 | Етилпропіонат, етиловий ефір пропіонової кислоти | $C_5H_{10}O_2$ | 2681,06 |
| 679 | м-Етилтолуол, 1-метил-3-етилбешол, 3-етилтолуол | C_9H_{12} | 4993 |
| 680 | о-Етилтолуол, 1-метил-2-етилбешол, 2-етилтолуол | C_9H_{12} | 4993 |
| 681 | Етилформіат, етиловий ефір мурашиної кислоти | $C_3H_6C_2$ | 1472 |
| 682 | Етилцеллозольв, 2-етоксиетанол, етилгліколь, моноетиловий ефір етилгліколя, целозольв | $C_4H_{10}O_2$ | 2377 |
| 683 | Етилциклобутан | C_6H_{12} | 3789 |
| 684 | Етилциклогексан | C_8H_{16} | 4911 |
| 685 | Етилциклопентан | C_7H_{14} | 4320 |
| 686 | Етоксиацетилен | C_4H_6O | 2350 |
| 687 | Янтарна кислота, 1,4-бутандіова кислота | $C_4H_6O_4$ | 356,2 |

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 кускової | 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 | 19,0 |
| Металопласт | 24,0 |
| Плита деревно-волокниста | 13,0 |
| Плита деревно-стружкова | 12,0 |
| Плита деревно-волокниста з лакофарбовим покриттям | 16,0 |
| Вінілісшкіра оббивна низької горючості | 30,0 |
| Вінілісшкіра | 32,0 |
| Шкіра штучна «Теза» | 17,9 |
| Шкіра штучна на тканині | 20,0 |
| Склопластик на поліефірній основі | 14,0 |
| Лакофарбові покриття | 25,0 |
| Шпалери мийні ПВХ на паперовій основі | 12,0 |
| Лінолеум ПВХ одношаровий | 10,0 |
| Лінолеум алкідний | 10,0 |
| Лінолеум рулонний на тканинній основі | 12,0 |
| Лінолеум ПВХ: - з використанням полотна | 7,2 |
| - на підоснові «Неткол» | 9,0 |
| Доріжка пруткова вовняна | 9,0 |
| Покриття коврове, прошивне | 22,0 |
| Покриття коврове голкопробивне | 6,0 |
| Сіно, солома (при мінімальній вологості до 8 %) | 7,0 |
| Легкозаймісті, 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 Ангуана | | | Температурний інтервал значень констант рівняння Ангуана, °С | Нижня концентраційна межа поширення полум'я $C_{нкпп}$ % | Характеристики речовини | Теплота згоряння, кДж/кг |
|-------|-------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|----------|----------------|--|--|-------------------------|--------------------------|
| | | | | | | A | B | C _A | | | | |
| 1. | Амілацетат | $C_7H_{14}O_2$ | 130,196 | +43 | +290 | 7,16870 | 1579,510 | 221,365 | 25÷147 | 1,08 | ЛЗР | 34702 |
| 2. | Аміловий спирт | $C_5H_{12}O$ | 88,149 | +48 | +300 | 7,18246 | 1287,625 | 161,330 | 74÷157 | 1,48 | ЛЗР | 34702 |
| 3. | Ацетальдегід | C_2H_4O | 44,053 | -40 | +172 | 7,19160 | 1093,537 | 233,413 | -80÷20 | 4,12 | ГР | 28470 |
| 4. | Ацетон | C_3H_6O | 50,080 | -18 | +535 | 7,25058 | 1281,721 | 237,088 | -15÷93 | 2,91 | ЛЗР | 38519 |
| 5. | Бензол | C_6H_6 | 78,113 | -11 | +534 | 6,48898; | 902,275; | 178,099; | -20÷6 | 1,43 | ЛЗР | 38519 |
| 6. | н-бутилацетат | $C_6H_{12}O_2$ | 116,160 | +29 | +330 | 6,98426 | 1252,776 | 225,178 | -7÷80 | 1,43 | ЛЗР | 33000 |
| 7. | н-бутиловий спирт | $C_4H_{10}O$ | 74,122 | +35 | +345 | 7,00641 | 1340,743 | 199,757 | 0÷100 | 1,81 | ЛЗР | 33000 |
| 8. | Бутилацетат (вторинний) | $C_6H_{12}O_2$ | 116,160 | +19 | +410 | - | - | - | - | 1,4 | ЛЗР | 33000 |
| 9. | Бензиловий спирт | C_7H_8O | 108,130 | +90 | +400 | 7,93428; | 2130,42; | 218,0; | 20÷112; | 1,3 | ГР | 44800 |
| 10. | Гексадекан | $C_{16}H_{34}$ | 226,445 | +128 | +207 | 7,58200 | 1904,3 | 200,0 | 112÷300 | 0,473 | ГР | 44800 |
| 11. | Гексан | C_6H_{14} | 86,177 | -23 | +234 | 6,78749 | 1656,405 | 136,869 | 105÷287 | 1,242 | ЛЗР | 44800 |
| 12. | н-гексилловий спирт | $C_6H_{14}O$ | 102,176 | +60 | +285 | 6,87024 | 1166,274 | 223,661 | -54÷69 | 1,23 | ГР | 44900 |
| 13. | Гептан | C_7H_{16} | 100,203 | -4 | +223 | 7,27800 | 1420,273 | 165,469 | 56÷157 | 1,074 | ЛЗР | 16124 |
| 14. | Гліцерин | $C_3H_8O_3$ | 92,094 | +198 | +400 | 6,95154 | 1295,405 | 219,819 | -60÷98 | 2,6 | ЛЗР | 44400 |
| 15. | Декан | $C_{10}H_{22}$ | 142,284 | +47 | +230 | 9,05260 | 3074,220 | 214,712 | 141÷263 | 0,760 | ЛЗР | 11000 |
| 16. | Дивініловий ефір | C_4H_6O | 70,091 | -30 | +360 | 7,39530 | 1809,975 | 227,700 | 17÷174 | 1,7 | ЛЗР | 33900 |
| 17. | Диметил-формамід | C_3H_7ON | 73,094 | +53 | +440 | 6,98810 | 1055,259 | 228,589 | -40÷60 | 2,35 | ЛЗР | 33000 |
| 18. | Диоксан-1,4 | $C_4H_8O_2$ | 88,106 | +11 | +375 | 7,03446 | 1482,985 | 204,342 | 25÷153 | 2,0 | ЛЗР | 45200 |
| 19. | 1,2-дихлоретан | $C_2H_4Cl_2$ | 98,960 | +9 | +413 | 7,51611 | 1632,425 | 250,725 | 12÷101 | 6,2 | ЛЗР | 45200 |
| 20. | Диетиламін | $C_4H_{11}N$ | 73,138 | -14 | +310 | 7,66135 | 1640,179 | 259,715 | -24÷83 | 1,77 | ЛЗР | 33900 |
| 21. | Диетиловий ефір | $C_4H_{10}O$ | 74,122 | -41 | +180 | 7,22314 | 1267,557 | 236,329 | -33÷59 | 1,7 | ЛЗР | 33000 |
| 22. | Ізобутиловий спирт | $C_4H_{10}O$ | 74,122 | +28 | +364 | 6,99790 | 1098,945 | 232,372 | -60÷35 | 1,81 | ЛЗР | 45200 |
| 23. | Ізопентан | C_5H_{12} | 72,150 | -52 | +432 | 8,70512 | 2058,392 | 245,642 | -9÷116 | 1,36 | ЛЗР | 45200 |
| 24. | Ізопропіл-бензол | C_9H_{12} | 120,194 | +36 | +424 | 6,79306 | 1022,551 | 233,493 | -83÷28 | 0,93 | ЛЗР | 45200 |

Надія ФЕРЕНЦ

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------------------|-------------------------|---------|-----|------|----------|----------|---------|-------------|------|-----|-------|
| 25. | Ізопропіловий спирт | C_3H_8O | 60,096 | +14 | +430 | 8,38562 | 1733,00 | 232,380 | -26÷148 | 2,23 | ЛЗР | 30000 |
| 26. | м-ксилол | C_8H_{10} | 106,167 | +28 | +530 | 6,58807 | 1906,796 | 234,917 | 20,7÷181 | 1,1 | ЛЗР | 40872 |
| 27. | о-ксилол | C_8H_{10} | 106,167 | +31 | +464 | 6,28893 | 1575,114 | 223,579 | -3,8÷144,4 | 1,00 | ЛЗР | 40872 |
| 28. | п-ксилол | C_8H_{10} | 106,167 | +26 | +528 | 6,25485 | 1537,082 | 223,608 | -8,1÷138,3 | 1,1 | ЛЗР | 40872 |
| 29. | Метилловий спирт | CH_4O | 32,042 | +6 | +436 | 8,22777 | 1660,454 | 245,818 | -10÷90 | 6,98 | ЛЗР | 19500 |
| 30. | Толуол | C_7H_8 | 92,140 | +7 | +535 | 6,0507 | 1328,171 | 217,713 | -26,7÷110,6 | 1,27 | ЛЗР | 41031 |
| 31. | Трихлоретилен | C_2HCl_3 | 131,4 | +36 | +380 | 7,02808; | 1315,0; | 230,0; | 7÷155; | 12 | ВГ | |
| | | | | | | 7,4675 | 1675,0 | 280,0 | 155÷293 | | | |
| 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_6H_5Cl | 112,558 | +29 | +637 | 7,26112 | 1607,316 | 235,351 | -35÷132 | 1,4 | ЛЗР | 27130 |
| 34. | Етилацетат | $C_4H_8O_2$ | 88,106 | -3 | +446 | 6,22672 | 1244,951 | 217,881 | -15÷75,8 | 2,08 | ЛЗР | |
| 35. | Етилбензол | C_8H_{10} | 106,167 | +20 | +431 | 6,35879 | 1590,660 | 229,581 | -9,8÷136,2 | 1,03 | ЛЗР | 40872 |
| 36. | Етиловий спирт | C_2H_6O | 46,069 | +13 | +400 | 8,68665 | 1918,508 | 252,125 | -31÷78 | 3,61 | ЛЗР | 26900 |
| 37. | Етилцеллозольв | $C_4H_{10}O_2$ | 90,122 | +40 | +215 | 8,74133 | 2392,56 | 273,15 | 20÷135 | 1,8 | ЛЗР | |

Таблиця 28

Показники пожежної небезпеки сумішей і технічних продуктів

| № з/п | Продукт | Сумарна формула | Молярна маса, кг/моль | Температура спалаху, °С | Температура самозаймання, °С | Константи рівнянь Антуана | | | Температурний інтервал значень рівняння Антуана, °С | Нижня концентраційна межа поширення полум'я С _{НКПР} , %, (об.) | Характеристика речовини |
|-------|---|---|-----------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|---------|----------------|---|--|-------------------------|
| | | | | | | A | B | C _A | | | |
| 1. | Бензин авіаційний Б-70 | 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) | 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) | 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) | 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) | - | - | +53 | +240 | - | - | - | - | - | ЛЗР |
| 9. | Дизельне паливо "ДЛ" (літнє) загального призначення | - | - | +40 | +330 | - | - | - | - | - | ЛЗР |
| 10. | Дизельне паливо "З" | C _{12,343} H _{23,889} | 172,3 | +40 | - | 5,95338 | 1255,73 | 199,523 | 40÷210 | 0,61 | ЛЗР |
| 11. | Дизельне паливо "Л" | C _{14,511} H _{29,120} | 203,6 | +61 | - | 5,87629 | 1314,04 | 192,473 | 60÷240 | 0,52 | ЛЗР |
| 12. | Ксилол (суміш ізомерів) | C _{7,99} H _{9,98} | 106,0 | +24 | +590 | 7,05479 | 1478,16 | 220,535 | 0÷50 | 1,00 | ЛЗР |
| 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 _{42,888} 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 |

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 | Не допускається | | 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 | одним блоком 4000 | 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 | 0,7 Д, але не більше 30 м |
| Горизонтальні резервуари | До 100 вкл. | ЛЗР, ГР | одним блоком 4000 | не нормується |
| | Від 100 до 400 вкл. | ЛЗР, ГР | одним блоком 4000 | 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 підосви 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, °С | | |
|--------------------|-----------------|-------|-------|
| | 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 |

Таблиця 36

**ПОРОГОВІ МАСИ
небезпечних речовин для ідентифікації об'єктів підвищеної
небезпеки**

1. Для ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки порогові маси небезпечних речовин встановлюються за індивідуальними назвами для небезпечних речовин, які мають індивідуальні властивості (таблиця 36.1), а також за класами небезпечних речовин та категоріями небезпеки, які мають однорідні (подібні) індивідуальні властивості залежно від виду загроз, поєднані у секції: секція "Н" - "Загрози для здоров'я людини", секція "Р" - "Фізичні загрози", секція "Е" - "Загрози для навколишнього природного середовища" і секція "О" - "Інші загрози" (таблиця 36.2).

Таблиця 36.1

**ПОРОГОВІ МАСИ
небезпечних речовин за індивідуальними назвами**

| № з/п | Індивідуальні назви небезпечних речовин | Номер CAS (примітка 1) | Норматив порогової маси, тонн, для віднесення об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки: | | |
|-------|---|------------------------|--|---------|---------|
| | | | 1 класу | 2 класу | 3 класу |
| 1. | Амонію нітрат (пункт 2 примітки) | | 10 000 | 5000 | 2500 |
| 2. | Амонію нітрат (пункт 3 примітки) | | 5000 | 1250 | 312,5 |
| 3. | Амонію нітрат (пункт 4 примітки) | | 2500 | 350 | 49 |
| 4. | Амонію нітрат (пункт 5 | | 50 | 10 | 2 |

| | | | | | |
|-----|--|-----------|--------|------|-------|
| | примітки) | | | | |
| 5. | Калію нітрат (пункт 6 примітки) | | 10 000 | 5000 | 2500 |
| 6. | Калію нітрат (пункту 7 примітки) | | 5000 | 1250 | 312,5 |
| 7. | Миш'яку пентаоксид, миш'якова кислота (V) та/або солі миш'яку | 1303-28-2 | 2 | 1 | 0,5 |
| 8. | Миш'яку триоксид, миш'яковиста (III) кислота та/або солі миш'яку | 1327-53-3 | 0,1 | | |
| 9. | Бром | 7726-95-6 | 100 | 20 | 4 |
| 10. | Хлор | 7782-50-5 | 25 | 10 | 4 |
| 11. | Сполуки нікелю в інгальованій порошкоподібній формі: нікелю монооксид нікелю діоксид нікелю сульфід тринікелю дисульфід динікелю триоксид | | 1 | | |
| 12. | Етиленімін | 151-56-4 | 20 | 10 | 5 |
| 13. | Фтор (флуор) | 7782-41-4 | 20 | 10 | 5 |
| 14. | Формальдегід (концентрація ≥ 90 відсотків) | 50-00-0 | 50 | 5 | 0,5 |
| 15. | Водень | 1333-74-0 | 50 | 5 | 0,5 |
| 16. | Хлороводень (зріджений газ) | 7647-01-0 | 250 | 25 | 2,5 |
| 17. | Алкіли свинцю | | 50 | 5 | 0,5 |
| 18. | Зріджені займісті гази, категорія 1 або 2 (зокрема, зріджений нафтовий газ) і природний газ (примітка 8) | | 200 | 50 | 12,5 |
| 19. | Ацетилен | 74-86-2 | 50 | 5 | 0,5 |
| 20. | Етилену оксид | 75-21-8 | 50 | 5 | 0,5 |
| 21. | Пропілену оксид | 75-56-9 | 50 | 5 | 0,5 |
| 22. | Метанол | 67-56-1 | 5000 | 500 | 50 |
| 23. | 4,4'-метилен-біс (2-хлоранілін) та/або солі в порошкоподібній формі | 101-14-4 | 0,01 | | |
| 24. | Метилізоціанат | 624-83-9 | 0,15 | | |
| 25. | Кисень | 7782-44-7 | 2000 | 200 | 20 |

| | | | | | |
|-----|--|------------|--------|------|-------|
| 26. | 2,4-толуол диізоціанат | 584-84-9 | 100 | 10 | 1 |
| | 2,6-толуол диізоціанат | 91-08-7 | | | |
| 27. | Карбоніл дихлорид (фосген) | 75-44-5 | 0,75 | 0,3 | 0,12 |
| 28. | Арсин (тригідрид арсену) | 7784-42-1 | 1 | 0,2 | 0,04 |
| 29. | Фосфін (тригідрид фосфору) | 7803-51-2 | 1 | 0,2 | 0,04 |
| 30. | Дихлорид сірки | 10545-99-0 | 1 | | |
| 31. | Триоксид сірки | 7446-11-9 | 75 | 15 | 3 |
| 32. | Поліхлордибензофурані і поліхлордибензодіоксини (зокрема, ТХДД), обчислені в еквіваленті ТХДД (пункт 9 примітки) | | 0,001 | | |
| 33. | Наведені нижче канцерогени або суміші, що містять такі канцерогени в концентраціях вище 5 відсотків за масою: 4-амінобіфеніл та/або його солі бензотрихлорид, бензидин та/або солі біс (хлорметиловий) ефір хлордиметиловий ефір 1,2-дибромметан диетилсульфат диметилсульфат диметилкарбамоілхлорид 1,2-дибром-3-хлор-пропан 1,2-диметилгідрозин диметилнітрозамін гексаметилфосфотриамід гідрозин 2-нафтиламін та/або його солі 4-нітродифеніл 1,3-пропансультон | | 2 | 0,5 | 0,125 |
| 34. | Нафтопродукти та альтернативні види палива: (а) бензини та лігроїни (б) керосини (зокрема, реактивне паливо) (в) газойлі (зокрема, дизельне паливо, пічне паливо та газойлеві суміші) (г) важкі види нафтового палива (г) альтернативні види палива, використувані в таких самих | | 25 000 | 2500 | 250 |

| | | | | | |
|-----|--|----------------|------|-----|------|
| | цільях і мають такі самі властивості щодо займистості і загроз для навколишнього природного середовища, як і продукти, зазначені у підпунктах (а) - (г) | | | | |
| 35. | Безводний аміак | 7664-41-7 | 200 | 50 | 12,5 |
| 36. | Трифтористий бор | 7637-07-2 | 20 | 5 | 1,25 |
| 37. | Сірководень | 7783-06-4 | 20 | 5 | 1,25 |
| 38. | Піперидин | 110-89-4 | 200 | 50 | 12,5 |
| 39. | Біс(2-диметиламіноетил) (метил)амін | 3030-47-5 | 200 | 50 | 12,5 |
| 40. | 3-(2-етилгексилокси) пропіламін | 5397-31-9 | 200 | 50 | 12,5 |
| 41. | Суміші (пункт 11 примітки) гіпохлориту натрію, які віднесено до гостро небезпечних для водного середовища категорії 1 з характеристикою небезпеки H400 (дуже токсично для водних) із вмістом активного хлору менш як 5 відсотків активного хлору і не віднесених до будь-яких інших категорій небезпеки | | 500 | 200 | 80 |
| 42. | Пропіламін (пункт 10 примітки) | 107-10-8 | 2000 | 500 | 125 |
| 43. | Трет-бутилакрилат (пункт 10 примітки) | 1663-39-4 | 500 | 200 | 80 |
| 44. | 2-метил-3-бутен-нітрил (пункт 10 примітки) | 16529-56- 9 | 2000 | 500 | 125 |
| 45. | Тетрагідро-3,5-диметил-1,3,5,- тіадіазин-2-тіон (Дазомет) (пункт 10 примітки) | 533-74-4 | 200 | 100 | 50 |
| 46. | Метилакрилат (пункт 10 примітки) | 96-33-3 | 2000 | 500 | 125 |
| 47. | 3-метилпіридин (пункт 10 примітки) | 108-99-6 | 2000 | 500 | 125 |
| 48. | 1-бром-3-хлорпропан (пункт 10 примітки) | 109-70-6 | 2000 | 500 | 125 |

Примітки:

1. Номер CAS зазначено лише в індикативних цілях.
2. Амонію нітрат (10000/5000/2500): добрива, здатні до саморозкладання. Ця умова застосовується до комплексних/складних добрив на основі амонію нітрату (комплексні/складні добрива, що містять амонію нітрат з фосфатом та/або вуглекислим калієм), які здатні до саморозкладання і в яких вміст азоту у зв'язку з наявністю амонію нітрату становить від 15,75 відсотка (пункт 12 примітки) до 24,5 відсотка (пункт 13 примітки) за масою і/або не більш як 0,4 відсотка усіх займистих/органічних матеріалів, або які відповідають 15,75 відсотка за масою або менше та містять необмежену кількість горючих речовин.
3. Амонію нітрат (5 000/1 250/320): секція добрив. Ця умова застосовується до простих добрив на основі амонію нітрату і комплексних/складних добрив на основі амонію нітрату, у яких вміст азоту у зв'язку з наявністю амонію нітрату становить: понад 24,5 відсотка за масою, за винятком сумішей простих добрив на основі амонію нітрату з доломітом, вапняком і/або карбонатом кальцію із чистотою не менш як 90 відсотків; понад 15,75 відсотка за масою для сумішей амонію нітрату і амонію сульфату; понад 28 відсотків (пункт 14 примітки) за масою для сумішей простих добрив на основі амонію нітрату з доломітом, вапняком і/або кальцію карбонатом із чистотою не менш як 90 відсотків.
4. Амонію нітрат (2 500/350/50): технічна група. Ця умова застосовується до амонію нітрату і сумішей амонію нітрату, у яких вміст азоту у складі амонію нітрату становить: від 24,5 до 28 відсотків за масою і які містять не більш як 0,4 відсотка горючих речовин; понад 28 відсотків за масою і які містять не більш як 0,2 відсотка горючих речовин. Ця умова також застосовується до водних розчинів амонію нітрату, у яких концентрація амонію нітрату становить понад 80 відсотків за масою.
5. Амонію нітрат (50/10/2): “некондиційні” матеріали і добрива, які не пройшли випробування на детонацію. Ця умова застосовується до: матеріалу, який було відбраковано у процесі оброблення; амонію нітрату та до сумішей амонію нітрату; простих добрив на основі амонію нітрату і комплексних/складних добрив на основі амонію нітрату, зазначених у пунктах 3 і 4 примітки, що повертають або повернуто виробнику кінцевим споживачем на тимчасове зберігання або переробне підприємство для вторинного перероблення, утилізації чи оброблення з метою безпечного використання, оскільки вони не відповідають специфікаціям, зазначеним у пунктах 3 і 4 примітки; добрив, зазначених в абзаці першому пункту 2 примітки та пункті 3 примітки.
6. Калію нітрат (10000/5000/2500). Ця умова застосовується до складних добрив на основі калію нітрату (у грубозернистій/гранульованій

- формі), які мають такі самі небезпечні властивості, що і чистий калію нітрат.
7. Калію нітрат (5000/1250/320). Ця умова застосовується до складних добрив на основі калію нітрату (у кристалічному вигляді), які мають такі самі небезпечні властивості, що і чистий калію нітрат.
 8. Збагачений біогаз. Збагачений біогаз можна класифікувати за рядком 18 таблиці 36.1 у тих випадках, коли він був оброблений відповідно до стандартів для очищеного і збагаченого біогазу, що гарантують якість, еквівалентну природному газу, у тому числі вміст метану, і який містить не більш як 1 відсоток кисню.
 9. Поліхлордобензофурани і поліхлордобензодіоксини. Масу поліхлордобензофуранів і поліхлордобензодіоксинів розраховують за такими показниками:

| Коефіцієнт токсичної еквівалентності (TEF, КТЕ), ВООЗ 2005 | | | |
|--|--------|---------------------|--------|
| 2,3,7,8-TCDD | 1 | 2,3,7,8-TCDF | 0,1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 1 | 2,3,4,7,8-PeCDF | 0,3 |
| | | 1,2,3,7,8-PeCDF | 0,03 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0,1 | | |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0,1 | 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 0,1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 0,1 | 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 0,1 |
| | | 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 0,1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0,01 | 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 0,1 |
| OCDD | 0,0003 | 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0,01 |
| | | 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0,01 |
| | | OCDF | 0,0003 |

(Т - тетра, Ре - пента, Нх - гекса, Нр - гепта, О - окта)

10. Якщо небезпечна речовина відповідно належить до класу небезпечних речовин "Займісті рідини" (категорія Р5а або Р5b), для цілей ідентифікації застосовують найменшу порогову масу.
11. Якщо суміш не містить гіпохлориту натрію, така суміш не належить до гостронебезпечних для водного середовища категорії 1 з характеристикою небезпеки Н400 (дуже токсично для водних організмів).
12. Вміст азоту 15,75 відсотка за масою у зв'язку з наявністю амонію нітрату відповідає 45 відсоткам амонію нітрату.
13. Вміст азоту 24,5 відсотка за масою у зв'язку з наявністю амонію нітрату відповідає 70 відсоткам амонію нітрату.
14. Вміст азоту 28 відсотків за масою у зв'язку з наявністю амонію нітрату відповідає 80 відсоткам амонію нітрату.

Таблиця 36.2

ПОРОГОВІ МАСИ
небезпечних речовин за класами небезпечних речовин та
категоріями безпеки

| Класи небезпечних речовин та категорії безпеки | Норматив порогової маси, тонн, для віднесення об'єкта до об'єкта підвищеної безпеки: | | |
|---|--|---------------------|--------------------|
| | 1 класу | 2 класу | 3 класу |
| Секція "Н" Загрози для здоров'я людини (пункт 1 примітки) | | | |
| Н1 ГОСТРА ТОКСИЧНІСТЬ Категорія 1, всі шляхи впливу | 20 | 5 | 1,25 |
| Н2 ГОСТРА ТОКСИЧНІСТЬ Категорія 1, всі шляхи впливу і категорія 2, шляхом інгаляційного впливу (пункт 46 примітки) | 200 | 50 | 12,5 |
| Н3 ВИБІРКОВА ТОКСИЧНІСТЬ Характеризується ураженням окремих органів-мішеней за умови однократного впливу на організм (ВТОМ-ОВ), категорія 1 | 200 | 50 | 12,5 |
| Секція "Р" Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури (пункти 2-45 примітки) | | | |
| Р1а ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ (пункт 2 примітки) Нестабільні вибухові речовини або вибухові речовини, підклас 1.1, 1.2, 1.3, 1.5 чи 1.6, або речовини чи суміші, що мають вибухові властивості (пункт 3 примітки) та не належать до класів небезпек органічних перекисів або самореактивних речовин і сумішей | 50 | 10 | 2 |
| Р1б ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ (пункт 47 примітки) Вибухові речовини, підклас 1.4 (пункт 49 примітки) | 200 | 50 | 12,5 |
| Р2 ЗАЙМИСТІ ГАЗИ Займісті гази, категорія 1 або 2 | 50 | 10 | 2 |
| Р3а ЗАЙМИСТІ АЕРОЗОЛІ (пункт 50 примітки) Займісті аерозолі категорії 1 або 2, що містять займісті гази категорії 1 | 500 (маса нетто) | 150 (маса нетто) | 45 (маса нетто) |

| | | | |
|---|------------------------|----------------------|---------------------|
| або 2 чи займисті рідини категорії 1 | | | |
| P3b ЗАЙМИСТІ АЕРОЗОЛІ (пункт 50 примітки) Займисті аерозолі категорії 1 або 2, що не містять займистих газів категорії 1 або 2, чи займисті рідини категорії 1 (пункт 51 примітки) | 50 000 (маса нетто) | 5000 (маса нетто) | 500 (маса нетто) |
| | | | |
| P4 ОКИСНЮВАЛЬНІ ГАЗИ Окислювальні газы, категорія 1 | 200 | 50 | 12,5 |
| | | | |
| P5a ЗАЙМИСТІ РІДИНИ Займисті рідини, категорія 1 або займисті рідини категорії 2 або 3, які зберігають за температури, що перевищує їх точку кипіння, або інші рідини з температурою займання $\leq 60^{\circ} \text{C}$, які зберігають за температури, що перевищує їх точку кипіння (пункт 52 примітки) | 50 | 10 | 2 |
| | | | |
| P5b ЗАЙМИСТІ РІДИНИ Займисті рідини категорії 2 або 3, у тому разі, коли особливі умови оброблення такі як високий тиск або висока температура, можуть створити загрозу виникнення значних аварій, або інші рідини з температурою займання $\leq 60^{\circ} \text{C}$, у тому разі, коли особливі умови оброблення, такі як високий тиск або висока температура, можуть створити загрозу виникнення значних аварій (пункт 52 примітки) | 200 | 50 | 12,5 |
| | | | |
| P5c ЗАЙМИСТІ РІДИНИ Займисті рідини категорії 2 або 3, не передбачені в рядках P5a і P5b | 50 000 | 5000 | 500 |
| | | | |
| P6a САМОРЕАКТИВНІ РЕЧОВИНИ ТА СУМІШІ, А ТАКОЖ ОРГАНІЧНІ ПЕРЕКИСИ Самореактивні речовини та суміші, тип А або В або органічні перекиси, тип А або В | 50 | 10 | 2 |
| | | | |
| P6b САМОРЕАКТИВНІ РЕЧОВИНИ | 200 | 50 | 12,5 |

| | | | |
|--|-----|-----|------|
| ТА СУМІШІ, А ТАКОЖ ОРГАНІЧНІ ПЕРЕКИСИ Самореактивні речовини та суміші, тип С, D, E або F або органічні перекиси, тип С, D, E або F | | | |
| R7 ПІРОФОРНІ РІДИНИ ТА ТВЕРДІ РЕЧОВИНИ Пірофорні (самозаймісті) рідини, категорія 1 Пірофорні (самозаймісті) тверді речовини, категорія 1 | 200 | 50 | 12,5 |
| R8 ОКИСНЮВАЛЬНІ РІДИНИ ТА ТВЕРДІ РЕЧОВИНИ Окислювальні рідини, категорія 1, 2 або 3 чи окислювальні тверді речовини, категорія 1, 2 чи 3 | 200 | 50 | 12,5 |
| Секція "Е" Загрози для навколишнього природного середовища | | | |
| E1 Категорія 1: гостра небезпека для водного середовища, або Категорія 1: хронічна небезпека для водного середовища | 200 | 100 | 20 |
| E2 Категорія 2: хронічна небезпека для водного середовища | 500 | 200 | 80 |
| Секція "О" Інші загрози | | | |
| O1 Речовини та суміші з характеристикою небезпеки EUN014 (бурхливо реагують з водою) | 500 | 100 | 20 |
| O2 Речовини та суміші, які у разі контакту з водою виділяють займісті гази, категорія 1 | 500 | 100 | 20 |
| O3 Речовини та суміші з характеристикою небезпеки EUN029 (можуть утворювати вибухонебезпечні пероксиди) | 200 | 50 | 12,5 |

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. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : ДСТУ Б В.1.1.36–2016. [Чинний з 01.01.2017]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 31 с.
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. Планування та забудова територій : ДБН Б.2.2–12:2019. [Чинний з 01.10.2019]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2019. 178 с.
11. Правила улаштування електроустановок : ПУЕ–2016. [Чинний з 01.12.2017]. Київ: Міненерговугілля, 2017. 617 с.
12. Газопостачання : ДБН В.2.5–20:2018. [Чинний з 01.07.2019]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 109 с.
13. Ференц Н., Павлюк Ю. Пожежна профілактика технологічних процесів в прикладах та задачах. Львів : ЛДУБЖД, 2015. 206 с.
14. Ференц Н., Павлюк Ю. Пожежна профілактика технологічних процесів. Львів : ЛДУБЖД, 2019. 332 с.
15. 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.
16. Михайлюк О.П., Олійник В.М., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Харків, 2004. 407 с.
17. Павлюк Ю.Е., Ференц Н.О. Аналіз пожежної небезпеки технологічних процесів виробництв. Львів, ЛДУ БЖД, 2008. 170 с.
18. Павлюк Ю.Е., Ференц Н.О. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Львів: ЛДУ БЖД, 2008. 96 с.

19. Задачник «Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів» / Заїка П.І., Хаткова Л.В. – Черкаси: ЧШБ, 2002. – 80 с.

20. 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.

21. 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 проектування та будівництва. – Т.4. – Київ. – ГУДПО МВС України.

22. 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 проектування та будівництва. – Т.4. – Київ. – ГУДПО МВС України.

23. Виробничі будівлі : СНиП 2.09.02–85*. [Чинний з 01.04.2005]. Київ: Держбуд України, 2005. 17 с.

24. Складські будівлі : ДБН В 2.2-43:2021. [Чинний з 01.09.2022]. Київ: Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2022. 24 с.

25. Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки. Постанова Кабінету Міністрів від 13.09.2022 р. №1030.

Навчальне видання

**Державна служба України з надзвичайних ситуацій
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

Ференц Надія Олександрівна

**Практикум
з пожежної профілактики
технологічних процесів
об'єктів підвищеної небезпеки
Навчальний посібник**

Літературний редактор Галина Падик

Підписано до друку 01.06.2023р.

Формат 60×84/16. Папір офсетний. Друк цифровий.

Ум. друк. арк.20,4. Наклад 100 прим.

Друк ФОП Гуменецький М. В. 81630 Львівська обл., Миколаївський р-н, с.

Гонятичі, вул. Польова, 10.

Свідоцтво фізичної особи підприємця:

№ 083613 від 18.08.2008 р.

