

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, В.М. Сирих**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ  
ПОЖЕЖНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ**

*Практикум*

**Харків 2016**

УДК 614.841.332  
ББК 38.708  
М 69

Друкується за рішенням вченої ради  
НУЦЗ України  
Протокол від 14.12.15 № 6

Авторський колектив:

О.П. Михайлюк, кандидат хімічних наук, доцент  
В.В. Олійник, кандидат технічних наук, доцент  
В.М. Сирих, кандидат технічних наук, доцент

**Рецензенти:** доктор фізико-математичних наук, професор Ю.П. Стародуб, завідувач кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання геофізичних процесів ЛДУБЖД; кандидат технічних наук, доцент Ю.В. Уваров, начальник науково-методичного центру навчальних закладів ДСНС України.

**Михайлюк О.П., Олійник В.В., Сирих В.М.**

М 69 Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів: практикум / О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, В.М. Сирих. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – 198 с.  
ISBN

Практикум являє собою збірник задач з дисциплін «Пожежна профілактика технологічних процесів», «Пожежна безпека технологічних процесів» для підготовки здобувачів бакалаврського ступеня вищої освіти у галузі знань «Цивільна безпека» за спеціальністю „Пожежна безпека”. Практикум містить 6 розділів, які присвячені теоретичним основам пожежної профілактики технологічних процесів і апаратів, кожний з яких представлений теоретичною частиною, методиками розв’язання типових задач, контрольними завданнями та необхідними довідковими матеріалами для їх виконання. Практикум може бути корисним широкому колу фахівців, які займаються профілактикою пожеж на виробництві.

УДК 614.841.332  
ББК 38.708

ISBN

© Михайлюк О.П., Олійник В.В.,  
Сирих В.М., 2016  
© НУЦЗУ, 2016

## Зміст

<b>Вступ</b> .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
<b>1 Дослідження пожежної безпеки середовища усередині технологічного обладнання</b> .....	<b>5</b>
1.1 Теоретична частина.....	5
1.2 Методика розв'язання основних типів задач .....	12
Контрольні завдання .....	15
<b>2 Пожежна безпека при виході горючих речовин із нормально працюючого технологічного обладнання</b> .....	<b>19</b>
2.2 Методика розв'язання основних типів задач .....	23
2.3 Контрольні завдання.....	27
<b>3 Пожежна безпека при виході горючих речовин із пошкодженого технологічного обладнання</b> .....	<b>30</b>
3.1 Теоретична частина.....	30
3.2 Методика розв'язання основних типів задач .....	56
Контрольні завдання .....	67
<b>4 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною безпекою</b> .....	<b>73</b>
4.1 Визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою.....	74
4.1.1 Теоретична частина.....	74
4.1.2 Типові приклади визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою .....	89
4.2 Визначення категорій будинків та протипожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною безпекою .....	115
4.2.1 Теоретична частина.....	115
4.2.2 Типові приклади визначення категорій будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною безпекою .....	115
4.3 Визначення категорій зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою.....	117
4.3.1 Теоретична частина.....	117
4.3.2 Типові приклади визначення категорій зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною безпекою .....	129
Контрольні завдання .....	134
<b>5 Виробничі джерела запалювання</b> .....	<b>137</b>
5.1 Теоретична частина.....	138
5.2 Методика розв'язання основних типів задач .....	148
Контрольні завдання .....	154
<b>6 Запобігання поширенню пожежі на виробництві</b> .....	<b>157</b>
6.1 Теоретична частина.....	157
6.2 Методика розв'язання основних типів задач .....	166
Контрольні завдання .....	170
<b>Література</b> .....	<b>174</b>
<b>Додатки</b> .....	<b>175</b>

## ВСТУП

Однією з найважливіших задач, які стоять сьогодні перед Україною, є забезпечення захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Актуальність проблеми забезпечення природно-техногенної безпеки зумовлена стійкими тенденціями зростання людських втрат та збитків територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами (стихіями), промисловими аваріями і катастрофами. Основними причинами екологічно небезпечних аварій на виробництві продовжують залишатися грубі порушення вимог безпеки керівниками робіт, спеціалістами і персоналом, порушення встановлених технологій та регламентів, конструктивні недоліки й несправність обладнання, машин, механізмів, невірні інженерні рішення, відсутність надійних систем запобігання і локалізації аварій, пожеж та приладів контролю і засобів захисту та ін. Особливо небезпечними є виробництва, в яких використовується велика кількість пожежовибухонебезпечних речовин і матеріалів і на яких виникнення навіть локальних пожеж або вибухів за несприятливого збігу обставин може призвести, внаслідок ланцюгового розвитку, до великомасштабних катастроф.

В цих умовах важливим завданням є підвищення пожежної безпеки у країні, що характеризується відсутністю ризику виникнення і розвитку пожеж, а також станом захисту населення і територій від пожеж. Невід'ємною складовою пожежної безпеки є пожежна профілактика на промислових і сільськогосподарських об'єктах, а також підготовка висококваліфікованих фахівців пожежної безпеки для сфери цивільної безпеки.

Цей практикум відповідає освітньо-професійній програмі дисциплін «Пожежна профілактика технологічних процесів», «Пожежна безпека технологічних процесів» для підготовки здобувачів бакалаврського ступеня вищої освіти у галузі знань «Цивільна безпека» за спеціальністю «Пожежна безпека».

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ СЕРЕДОВИЩА УСЕРЕДИНИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

## 1.1 Теоретична частина

У даній темі розглядаються умови утворення горючих (вибухонебезпечних) концентрацій (ВНК) усередині виробничих апаратів із горючими речовинами (ГР), які залежать від пожежовибухонебезпечних властивостей та агрегатного стану ГР, а також конструктивних особливостей і режиму роботи обладнання.

Усередині технологічного обладнання з горючими газами (ГГ) або перегрітими парами ВНК утворюється, якщо до нього попадає повітря або інший окисник (за умовами ведення технологічного процесу) і виконується співвідношення:

$$\varphi_{\text{н}} \leq \varphi_{\text{р}} \leq \varphi_{\text{в}}, \quad (1.1)$$

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

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

Значення  $\varphi_{\text{н}}$  та  $\varphi_{\text{в}}$  (за температури  $25\text{ }^\circ\text{C}$  та атмосферного тиску) наведені у табл.1 додатка. Визначити значення  $\varphi_{\text{н}}$  та  $\varphi_{\text{в}}$  за температурою середовища, відмінною від  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , можна за формулами:

$$\varphi_{\text{н.т}} = \varphi_{\text{н.25}} \cdot \left( 1 - \frac{t_{\text{р}} - 25}{1250} \right), \quad (1.2)$$

$$\varphi_{\text{в.т}} = \varphi_{\text{в.25}} \cdot \left( 1 + \frac{t_{\text{р}} - 25}{800} \right), \quad (1.3)$$

де  $t_{\text{р}}$  – робоча температура середовища в апараті,  $^\circ\text{C}$ .

Робочу концентрацію ГГ у суміші з окисником можна визначити з матеріального балансу апарата за формулою:

$$\varphi_{\text{р}} = \frac{V_{\text{Г}}}{V_{\text{Г}} + V_{\text{ок}}} \quad (1.4)$$

або

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

де  $V_{\Gamma}, V_{\text{ок}}$  – об’єми відповідно горючого газу та окисника в апараті, м<sup>3</sup>;

$G_{\Gamma}, G_{\text{ок}}$  – об’ємні витрати ГГ та окисника, м<sup>3</sup>/хв.

Вибухобезпечні умови експлуатації апаратів з горючими газами, рідинами та перегрітими парами визначають із виразів:

$$\varphi_{\text{р.без.}} \leq 0,9(\varphi_{\text{н}} - 0,0021), \quad (1.6)$$

$$\varphi_{\text{р.без.}} \geq 1,1(\varphi_{\text{в}} + 0,0042), \quad (1.7)$$

де  $\varphi_{\text{р.без}}$  – вибухобезпечна концентрація ГР у газоповітряній суміші, об. частки.

У вільному просторі герметичних або «дихаючих» апаратів з пожежонебезпечними рідинами вибухонебезпечні концентрації утворюються у тому випадку, коли виконується співвідношення (1.1).

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

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

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

У табл. 3 додатка наведено значення  $P_s$  деяких пожежонебезпечних рідин. Величину  $P_s$  також можна розрахувати за рівнянням Антуана:

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

де  $A, B$  та  $C_a$  – константи, які залежать від властивостей рідини (табл. 2 додатка) [10-13];

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

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

$$\varphi^* = \frac{\varphi^0 \cdot M}{V_t}, \quad (1.10)$$

де  $\varphi^*$ ,  $\varphi^0$  – значення концентраційних меж поширення полум'я відповідно в масових (кг/м<sup>3</sup>) та об'ємних частках;

$M$  – молекулярна маса речовини, кг/кмоль;

$V_t$  – молярний об'єм парів або газів за робочих умов, м<sup>3</sup>/кмоль.

Для визначення  $V_t$  застосовують наступне рівняння:

$$V_t = V_0 \cdot \frac{T_p}{T_0} \cdot \frac{P_0}{P_p}, \quad (1.11)$$

де  $V_0 = 22,41$  м<sup>3</sup>/кмоль – молярний об'єм парів або газів за нормальних умов;

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

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

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

Вибухобезпечні умови експлуатації «дихаючих» апаратів визначаються тільки з виразу (1.6), тому що у процесі їхньої експлуатації, за зниження рівня продукту або температури навколишнього середовища, до апаратів через дихальні пристрої надходить повітря, що призводить до розрідження «багатих» сумішей з  $\varphi_p > \varphi_v$  та утворення ВНК.

Якщо концентрація парів у вільному просторі апарата з пожежо-небезпечною рідиною є насиченою і не змінюється при його експлуатації, можливість утворення ВНК визначається зі співвідношення:

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

де  $t_{н.м.}$ ,  $t_{в.м.}$  – відповідно, нижня та верхня температурні межі поширення полум'я, °С (табл. 1 додатка).

Вибухобезпечні температурні умови експлуатації апаратів, з урахуванням коефіцієнтів безпеки, визначають з наступних виразів:

$$t_{p.без.} \leq \frac{B}{A - \lg[1,1 \cdot 10^3 \cdot (\varphi_H - 0,0021) \cdot P_0]} - C_a, \quad (1.13)$$

$$t_{p.без.} \geq \frac{B}{A - \lg[1,1 \cdot 10^3 \cdot (\varphi_B + 0,0042) \cdot P_0]} - C_a. \quad (1.14)$$

Під час експлуатації апаратів із відкритою поверхнею випаровування (фарбувальні, гартівні та інші роботи) ВНК парів над дзеркалом пожежонебезпечної рідини утворюється за умови:

$$t_p \geq t_{сп}, \quad (1.15)$$

де  $t_{сп}$  – температура спалаху пожежонебезпечної рідини, °С (табл. 1, 2 додатка).

Концентраційні межі поширення полум'я газових (парових) сумішей, до складу яких входять горючі та негорючі компоненти, оцінюють за формулою Ле-Шательє:

$$\varphi_{м,с} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{\varphi_{м_i}}}, \quad (1.16)$$

де  $\varphi_{м,с}$  – концентраційна межа поширення полум'я (нижня або верхня) суміші, об. частки;

$\varphi_i$  – об'ємна частка  $i$ -го горючого компонента в суміші;

$\varphi_{м_i}$  – концентраційна межа поширення полум'я (нижня або верхня)  $i$ -го компонента, об. частки;

$n$  – кількість горючих компонентів у суміші.

Якщо суміш газів (парів) складається тільки з горючих компонентів, у чисельнику формули (1.16) приймаємо  $\sum_{i=1}^n \varphi_i = 1$ .

Температурні межі поширення полум'я пожежонебезпечних рідин можна перерахувати в концентраційні (або навпаки) за наступною формулою:

$$t_m = \frac{B}{A - \lg[10^{-3} \cdot \varphi_m \cdot P_0]} - C_a, \quad (1.17)$$



де  $t_M$  – температурна межа поширення полум'я (нижня або верхня), °С.  
 Значення температурних меж поширення полум'я пожежонебезпечних рідин за робочого тиску  $P_p$ , відмінного від атмосферного в інтервалі від  $1 \cdot 10^5$  до  $2 \cdot 10^5$  Па, перераховують за формулою:

$$t_{M.p} = \frac{B}{\frac{B}{C_a + t_{M.o}} \pm \lg(10^{-5} \cdot P_p)} - C_a, \quad (1.18)$$

де індекс «р» – означає, що показник має відношення до робочого тиску, а індекс «о» – до атмосферного. Знак «+» приймають при розрахунках  $t_{H.M.}$ , а знак «-» – при розрахунках  $t_{B.M.}$ .

Якщо в апаратах знаходяться не індивідуальні пожежонебезпечні рідини, а їх розчини (у тому числі й водяні), тиск насичених парів компонентів над розчином визначають за законом Рауля (для ідеальних розчинів):

$$P'_{si} = P_{si} \cdot X_i, \quad (1.19)$$

де  $P'_{si}$  – парціальний тиск і-го компонента над розчином, кПа;

$P_{si}$  – тиск насичених парів чистого і-го компонента за заданої температури, кПа;

$X_i$  – мольна частка і-го компонента у розчині, яка залежить від його відносного вмісту. Для взаємно нерозчинних рідин –  $P_{ссм} = \sum P_{si}$ .

Відносний вміст компонентів у розчині визначається за формулою:

$$\varphi_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1.20)$$

або

$$C_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.21)$$

де  $\varphi_i$  та  $C_i$  – відповідно об'ємна та масова частки і-го компонента у розчині;

$V_i$  – об'єм і-го компонента у розчині, м<sup>3</sup>;

$m_i$  – маса і-го компонента у розчині, кг;

$n$  – число компонентів у розчині.

Перерахувати відносний об'ємний або масовий вміст компонентів у розчині у мольні частки компонентів для бінарних розчинів, які містять компоненти А та В, можна за формулами:

$$C_a = \frac{\varphi_a \cdot \rho_a}{\varphi_a \cdot \rho_a + (1 - \varphi_a) \cdot \rho_b}, \quad (1.22)$$

$$X = \frac{\frac{C_a}{M_a}}{\frac{C_a}{M_a} + \frac{1 - C_a}{M_b}}, \quad (1.23)$$

де індекси «а» та «в» вказують на віднесеність значень до компонентів А і В;

$\rho_a$  та  $\rho_b$  – густина чистих компонентів А та В (табл. 4 додатка), кг/м<sup>3</sup>;

$M_a$  та  $M_b$  – молекулярні маси чистих компонентів А та В, кг/кмоль;

$$\varphi_b = 1 - \varphi_a; C_b = 1 - C_a; X_b = 1 - X_a.$$

Перерахувати масові частки компонентів у газових сумішах в об'ємні частки, а також визначити густину, молекулярну масу та газову сталу суміші парів або газів можна за формулами, наведеними в табл. 5 додатка.

У процесі переробки, транспортування кускових або подрібнених горючих матеріалів, а також під час їхньої обробки утворюються вибухонебезпечні пилоповітряні суміші, якщо виконується наступне співвідношення:

$$\varphi'_p \geq \varphi'_n, \quad (1.24)$$

де  $\varphi'_p$  – фактична (робоча) концентрація пилу (завислого та осілого) в апараті або у приміщенні, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi'_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я пилоповітряної суміші, кг/м<sup>3</sup>.

Дійсну концентрацію горючого пилу в апараті можна визначити за формулою:

$$\varphi'_p = \varphi'_{зав} + \varphi'_{ос}, \quad (1.25)$$

де  $\varphi'_{зав}$  – концентрація завислого горючого пилу в апараті, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi'_{oc}$  – концентрація осілого горючого пилу в апараті,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , який може перейти в завислий стан, що визначається за формулами:

$$\varphi'_{oc} = \frac{I_{\text{від}} \cdot \tau}{V_B}, \quad (1.26)$$

або

$$\varphi'_{oc} = \frac{m_{oc}}{V_B}, \quad (1.27)$$

де  $I_{\text{від}}$  – інтенсивність утворення відкладень пилу,  $\text{кг}/\text{хв}$ .;

$\tau$  – тривалість роботи апарата,  $\text{хв}$ ;

$V_B$  – вільний об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$m_{oc}$  – маса осілого пилу в апараті,  $\text{кг}$ .

Вибухобезпечні умови експлуатації апаратів з горючим пилом визначають за виразом:

$$\varphi'_{p.без} \leq \frac{\varphi_H}{K_{б.н}}, \quad (1.28)$$

де  $K_{б.н}$  – коефіцієнт безпеки (запас надійності),  $K_{б.н} > 2$ .

Для флегматизації горючих газоповітряних сумішей у виробничих апаратах використовують інертні гази: діоксид вуглецю, азот, водяну пару (за температури середовища в апараті вище  $100^\circ\text{C}$ ), аргон тощо.

Гранично допустиму вибухобезпечну концентрацію флегматизатора (ГДВК<sub>ф</sub>) визначають за формулою:

$$\varphi_{фл.без} = K_{без.ф} \cdot \varphi_{ф}, \quad (1.29)$$

де  $\varphi_{ф}$  – мінімальна флегматизуюча концентрація флегматизатора, об. частки;

$K_{без.ф}$  – коефіцієнт безпеки:

– при  $\varphi_{ф} > 0,15$  об. частки  $K_{без.ф} = 1,2$ ;

– при  $\varphi_{ф} \leq 0,15$  об. частки  $K_{без.ф} = 1,5$ .

Величина  $\varphi_{ф}$  для деяких індивідуальних речовин наведена у довіднику [12,13], а для пилоповітряних сумішей розраховується, згідно з методикою [3], за формулою:

$$\varphi_{ф} = 1 - 4,774 \cdot \varphi_{\text{ф}02}, \quad (1.30)$$

де  $\varphi_{\text{ф}02}$  – мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню (МВВК), величина якого наведена у довіднику [12,13] або розраховується (при флегматизації середовища азотом) за формулою:

$$\varphi_{\text{ф}02} = \beta \cdot \varphi_{\text{н}}, \quad (1.31)$$

де  $\beta$  – стехіометричний коефіцієнт при кисню у рівнянні реакції згоряння одного моля горючої речовини.

Визначити значення мінімальної флегматизуючої концентрації за температури середовища, відмінної від 25 °С, можна за формулою:

$$\varphi_{\text{ф}} = \varphi_{\text{ф}25} \left( 1 + \frac{t_{\text{р}} - 25}{1100} \right). \quad (1.32)$$

Кількість інертного газу, необхідного для флегматизації горючої суміші в апараті, визначають за формулою:

$$V_{\text{ф}} = \varphi_{\text{фл.без}} \cdot V_{\text{в}}, \quad (1.33)$$

де  $V_{\text{ф}}$  – кількість інертного газу, що надходить до апарата, м<sup>3</sup>.

## 1.2 Методика розв'язання основних типів задач

**Задача 1.2.1.** Визначити концентрацію насичених парів і зробити висновок про горючість середовища в апараті над розчином етилового спирту в бензолі за 40 °С й атмосферного тиску. У розчині міститься 50 л етилового спирту та 120 л бензолу.

### *Розв'язання:*

1. Відносний об'ємний вміст компонентів у розчині визначаємо за формулою (1.20):

$$\varphi_{\text{е}} = \frac{50}{50 + 120} = 0,294 \text{ об. част. етилового спирту};$$

$$\varphi_{\text{б}} = 1 - 0,294 = 0,706 \text{ об. част. бензолу.}$$

2. За табл. 4 додатка знаходимо густину компонентів розчину за робочої температури та визначаємо відносний масовий вміст у розчині за формулою (1.22):

$$\rho_e = 772,2 \text{ кг / м}^3; \rho_b = 857,6 \text{ кг / м}^3;$$

$$C_e = \frac{0,294 \cdot 772,2}{0,294 \cdot 772,2 + 0,706 \cdot 857,6} = 0,273 \text{ мас. частки};$$

$$C_b = 1 - 0,273 = 0,727 \text{ мас. частки.}$$

3. Обчислюємо мольну частку компонентів у розчині за формулою (1.23):

$$X_e = \frac{0,273/46,07}{0,273/46,07 + 0,727/78,11} = 0,388 \text{ частки моля,}$$

де 46,07 кг/кмоль та 78,11 кг/кмоль – молекулярні маси відповідно етилового спирту та бензолу (табл. 1, 2 додатка).

4. Тиск насичених парів чистих компонентів при 40 °С (313 К) визначаємо за формулою (1.9):

$$P_e = 10^{\left(7,81158 - \frac{1918,508}{252,125+40}\right)} = 17,37 \text{ кПа}; \quad P_b = 10^{\left(5,61391 - \frac{902,275}{178,099+40}\right)} = 30 \text{ кПа.}$$

5. Розраховуємо парціальний тиск парів компонентів (етилового спирту та бензолу) за формулою (1.19):

$$P'_{se} = 17,37 \cdot 0,388 = 6,74 \text{ кПа}, \quad P'_{sb} = 30 \cdot 0,612 = 18,36 \text{ кПа.}$$

6. Тоді сумарний тиск насичених парів над розчином становить:

$$P'_s = 6,74 + 18,36 = 25,1 \text{ кПа.}$$

7. Концентрацію насиченої пари над розчином етилового спирту в бензолі обчислюємо за формулою (1.8):

$$\varphi_s = \frac{25,1}{101} = 0,25 \text{ об. част. або } 25 \% \text{ об.}$$

8. Визначаємо концентраційні межі поширення полум'я розчину «етиловий спирт – бензол» за формулою (1.16). Оскільки горюча суміш складається з горючих компонентів, приймаємо  $\sum_{i=1}^n \varphi_i = 1$ . Тоді

$$\varphi_{\text{н.с.}} = \frac{1}{\frac{0,294}{0,036} + \frac{0,706}{0,0143}} = 0,017 \text{ об. част.},$$

$$\varphi_{\text{в.с.}} = \frac{1}{\frac{0,294}{0,177} + \frac{0,706}{0,8}} = 0,394 \text{ об. част.}$$

Отже, концентрація насиченої пари над розчином етилового спирту в бензолі становить 0,25 об. част. Таким чином за умов, що склалися у даному випадку, коли  $\varphi_p = \varphi_s = 0,25$  об. част., а  $\varphi_{\text{н.с.}}$  і  $\varphi_{\text{в.с.}}$  дорівнюють 0,017 та 0,394 об. част. відповідно. В апараті утворюється вибухопожежонебезпечне середовище, оскільки  $\varphi_{\text{н}} < \varphi_p < \varphi_{\text{в}}$ .

**Задача 1.2.2.** За умовами ведення технологічного процесу до змішувача надходять горючий газ – бутадієн-1,3 та повітря. Витрата бутадієну-1,3 та повітря становить відповідно 12 м<sup>3</sup>/год. та 1988 м<sup>3</sup>/год., а температура суміші, що утворюється ( $t_p$ ), – 95 °С.

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

**Розв'язання:**

1. Визначаємо робочу концентрацію бутадієну-1,3 у суміші з повітрям за формулою (1.4):

$$\varphi_p = \frac{12}{12 + 1988} = 0,006 \text{ об. частки.}$$

2. Розраховуємо нижню та верхню концентраційні межі поширення полум'я бутадієно-повітряних сумішей за температури 95 °С згідно формул (1.2) та (1.3), якщо  $\varphi_{\text{н},25} = 0,02$ ,  $\varphi_{\text{в},25} = 0,115$  (табл. 1, 2 додатка):

$$\varphi_{\text{н}} = 0,02 \left( 1 - \frac{95 - 25}{1250} \right) = 0,0189 \text{ об. частки,}$$

$$\varphi_{\text{в}} = 0,115 \left( 1 + \frac{95 - 25}{800} \right) = 0,1250 \text{ об. частки.}$$

3. Підставляємо знайдені величини  $\varphi_{\text{н}}$  та  $\varphi_{\text{в}}$  до співвідношення (1.1):

$$\varphi_p < \varphi_n = 0,006 < 0,0189.$$

Отже, усередині апарата з бутадієно-повітряною сумішшю концентрація бутадієну є вибухопожежобезпечною.

**Задача 1.2.3.** Визначити мінімальну кількість осілого пилу поліпропілену, що накопичується в циклоні, під час завихрення якого утворюється вибухонебезпечна концентрація у всьому об'ємі апарата. Об'єм циклона – 1,2 м<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

1. Масу осілого пилу в циклоні за умов, коли  $\varphi_{oc} = \varphi_n$ , визначаємо за формулою (1.27):

$$m_{oc} = \varphi'_n \cdot V_b = 40 \cdot 1,2 = 48 \text{ г},$$

де  $\varphi'_n = 40 \text{ г/м}^3$  [10].

Таким чином, для утворення ВНК пилу поліпропілену, що накопичується в циклоні, достатньо 48 г пилу.

### Контрольні завдання

**Завдання 1.3.1.** Запропонувати вибухобезпечний концентраційний режим експлуатації газового змішувача (вихідні дані наведені в табл. 1.1) з урахуванням того, що температура в апараті змінюється від 25 °С (пуск апарата до експлуатації) до  $t_p$ .

Таблиця 1.1– Показники для розв'язання завдання 1.3.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	Ацетилен	Аміак	Бутан	Водень	Метан	Оксид вуглецю	Пропан	Сірководень	Етан	Етилен
$G_r, \text{ м}^3/\text{ГОД}$	200	400	300	80	350	550	150	300	200	200
$G_{ок}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$	8000	1200	3000	2000	7000	4000	1200	370	1200	400
$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	140	400	200	350	250	500	250	180	300	280

**Завдання 1.3.2.** Технологічний процес освітлення продукту (пожежонебезпечної рідини) проводиться у відстійнику з дихальним пристроєм за постійної температури. 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 – Показники для виконання завдання 1.3.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	Бутилацетат	Бутиловий спирт	Хлорбензол	Оцтова кислота	Бутилацетат	Бутиловий спирт	Ундекан	Оцтова кислота	Хлорбензол	Ундекан
Робоча температура, °С	40	50	30	30	60	75	40	50	65	80

**Примітка.** При розв'язанні задачі необхідно врахувати розбавлення насиченої пароповітряної суміші повітрям, що надходить до відстійника завдяки зниженню у ньому рівня продукту.

**Завдання 1.3.3.** Технологічний процес фільтрації готового продукту (пожежонебезпечної рідини) проводять на фільтрі, що працює під вакуумом або надлишковим тиском. Температура продукту та його рівень в апараті протягом всього процесу фільтрації підтримуються постійними. Запропонувати вибухобезпечний температурний режим проведення процесу фільтрації за робочого тиску пароповітряної суміші в апараті та визначити граничний тиск, нижче якого пароповітряна суміш не має концентраційних меж поширення полум'я. Вид продукту і робочий (абсолютний) тиск процесу наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Показники для виконання завдання 1.3.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	Бутиловий спирт	Декан	Додекан	Етилбензол	Нонан	Стирол	Оцтова кислота	Ундекан	Етилцелозоль	Бутилацетат
Тиск, кПа	90	70	150	130	120	80	140	110	90	120

**Примітка.** При розв'язанні задачі необхідно скористатися формулою (1.18) для перерахунку показників пожежної небезпеки продукту з урахуванням фактичного тиску пароповітряної суміші.

**Завдання 1.3.4.** У технологічному процесі приготування лакофарбових матеріалів використовуються розчинники, які складаються із двох компонентів. Зробити висновок про можливість утворення ВНК в ємності місткістю 2 м<sup>3</sup> з розчинником (бак обладнаний дихальним пристроєм). Вміст компонентів розчинника в ємності й технологічні параметри процесу зберігання наведені в табл. 1.4 (тиск в ємності – атмосферний).



Таблиця 1.4 – Показники для виконання завдання 1.3.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Компоненти та їх вміст, кг	Бензол, 400; толуол, 600	Бензол, 500; ксилол, 500	Толуол, 800; ацетон, 200	Толуол, 700; ксилол, 300	Ацетон, 200; пропанол, 800	Ацетон, 250; етанол, 750	Толуол, 450; етил ацетат, 550	Етил-ацетат, 600; ксилол, 400	Уайт-спірит, 200; ацетон, 800	Уайт-спірит, 150; ксилол, 750
Температура, °С	30	35	25	20	30	20	15	10	25	35

**Завдання 1.3.5.** На станції технічного обслуговування автомобілів промивання деталей двигунів машин проводять у відкритій ванні з миючим засобом (пожежонебезпечною рідиною). Оцінити небезпеку та надати рекомендації щодо зниження пожежовибухонебезпеки вказаної технологічної операції. Вид миючого засобу і його максимальну температуру у ванні ( $t_p$ ) прийняти за табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Показники для виконання завдання 1.3.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Миючий засіб	Пентадекан	Додекан	Тетрадекан	Ундекан	Тридекан	Гас	Дизельне паливо Л	Уайт-спірит	Нонан	Гексадекан
$t_p$ , °С	<70	<60	<100	<30	<70	<40	<50	<20	<30	<120

**Завдання 1.3.6.** У процесі подрібнення горючого кускового матеріалу виділяється пил, що видаляється із внутрішнього простору дробарок місцевими системами відсмоктування (аспіраційними системами). Зробити висновок про можливість утворення вибухонебезпечної пилоповітряної суміші у колекторі магістрального повітропроводу системи аспірації (з урахуванням наявності завислого пилу). Визначити тривалість безпечної експлуатації системи аспірації, якщо  $K_{б.н.}=20$ . Дані для розрахунку наведені в табл. 1.6. Концентрація пилу в повітрі, що видаляється, не перевищує 10 % нижньої концентраційної межі поширення полум'я.

Таблиця 1.6 – Показники для виконання завдання 1.3.6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Матеріал	Вугілля марки Т		Вугілля марки Г		Нафталін		Сірка		Каніфоль	
Об'єм колектора, м <sup>3</sup>	35	70	100	250	40	80	20	60	15	30
Інтенсивність утворення відкладень пилю г/с • 10 <sup>3</sup>	40	25	200	120	50	100	30	10	20	80
φ <sub>н</sub> , г/м <sup>3</sup>	60		52		2,5		2,3		12,6	

**Примітка.** При визначенні тривалості безпечної експлуатації системи аспірації необхідно одночасно розрахувати дійсну концентрацію пилю в апараті (1.25)–(1.27).

**Завдання 1.3.7.** На хімічному виробництві апарат із пожежонебезпечною рідиною підключений до системи азотного дихання. Концентрація азоту в системі знаходиться в межах 55–60 % об. (решта повітря і пари рідини). Провести аналіз можливості утворення ВНК в апараті, а також обґрунтувати розрахунком вибухобезпечну концентрацію інертного газу (азоту) і визначити його кількість, що необхідна для флегматизації середовища в апараті з пожежонебезпечною рідиною. Вид пожежонебезпечної рідини, температура середовища в апараті, а також вільний об'єм апарата наведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Показники для виконання завдання 1.3.7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рідина	Метилловий спирт	Бензол	Ксилол	Бутилацетат	Гексан	Стирол	Толуол	Етанол	Хлорбензол	Етилбензол
Температура, °С	40	85	50	55	70	45	20	100	35	30
Вільний об'єм апарата, м <sup>3</sup>	0,8	2,5	2,0	1,5	1,2	1,0	1,8	2,2	1,7	0,9

**Завдання 1.3.8.** На складі лаків і фарб в ємностях зберігаються розчинники. Ступінь заповнення ємностей становить 70 %. Середня температура у приміщенні складу дорівнює 20 °С. Оцінити можливість утворення горючого середовища усередині ємностей та визначити найбільш небезпечну ємність. Вид пожежонебезпечної рідини, температура середовища в ємності, а також вільний об'єм ємності наведені у табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Показники для виконання завдання 1.3.8

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ ємності–рідина	1–ацетон; 2– ксилол; 3– уайт-спірит	1–етилацетат; 2–етанол; 3–ацетон	1–етилбензол; 2–гексан; 3– толуол	1– бутилацетат; 2– ацетон; 3– ксилол	1–гексан; 2–уайт-спірит; 3–етанол	1– стирол; 2–ацетон; 3–толуол	1–толуол; 2– айтспірит; 3–бутанол	1–етанол; 2– амілацетат; 3– ацетон	1–стирол; 2–толуол; 3–ацетон	1–етилбензол; 2–бутилацетат; 3– етилацетат

## 2 ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ПРИ ВИХОДІ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН ІЗ НОРМАЛЬНО ПРАЦЮЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 2.1 Теоретична частина

Умови утворення ВНК ззовні справного технологічного обладнання (апарати з дихальними пристроями, апарати з відкритою поверхнею випаровування та інші) залежать від пожежонебезпечних властивостей та кількості горючих речовин, що виходять назовні. Необхідною ознакою утворення ВНК ззовні апаратів є виконання також умови (1.15) – для пожежонебезпечних рідин та умови (1.24) – для всіх класів горючих речовин (газів, рідин, пилу і волокон).

Кількість рідини, що випаровується з відкритої поверхні, залежить від фізичних властивостей рідини, температурних умов випаровування, часу випаровування, рухомості повітря і визначається за формулами:

$$m_n = 1,155 \cdot \varphi_s \rho_t \sqrt{D_t \cdot \tau / (1 - \varphi_s)}, \quad (2.1)$$

де  $m_n$  – маса рідини, що випаровується у нерухоме середовище, кг;  
 $\varphi_s$  – концентрація насиченої пари, об. частки;  
 $\rho_t$  – густина пари рідини за робочої температури, кг/м<sup>3</sup>;  
 $F_B$  – площа поверхні випаровування, м<sup>2</sup>;  
 $D_t$  – коефіцієнт дифузії пари за температури пароповітряної суміші, м<sup>2</sup>/с;  
 $\tau$  – тривалість випаровування, с.

$$m_p = 10^{-6} \eta \sqrt{M} \cdot P_s \cdot F_B \cdot \tau, \quad (2.2)$$

де  $m_p$  – маса рідини, що випаровується у рухоме повітряне середовище, кг;

$P_s$  – тиск насиченої пари за робочої температури рідини, кПа;

$M$  – молекулярна маса речовини, кг/кмоль;

$\eta$  – коефіцієнт, який залежить від температури та швидкості руху повітря (числові значення коефіцієнта  $\eta$  наведені у табл. 7 додатка).

Коефіцієнт дифузії пари або газу в повітрі залежно від температури визначають за формулою [7]:

$$D_t = D_0 \left( \frac{t_p + 273}{273} \right)^n, \quad (2.3)$$

де  $D_0$  – значення коефіцієнта дифузії за нормальних умов ( $T_0=273$  К,  $P_0=1 \cdot 10^5$  Па), м<sup>2</sup>/с, наведені у довідковій літературі (табл. 1 додатка);

$n$  – показник ступеня, приймаємо за табл. 1 додатка.

Для визначення густини рідини за робочої температури застосовують наступну формулу:

$$\rho_t = \frac{M}{V_t}, \quad (2.4)$$

де  $\rho_t$  – густина рідини за робочої температури, кг/м<sup>3</sup>;

$V_t$  – молярний об'єм пари або газів за робочих умов, м<sup>3</sup>/кмоль, визначається за формулою (1.11).

Кількість горючих парів, що виходять з апаратів, сполучених з атмосферою через дихальні труби або відкриті люки, залежить не тільки від фізичних властивостей рідини, але і від числа «малих» та «великих дихань», і визначається за формулами:

$$G_B = V_p \cdot \frac{P_p}{T_p} \cdot \varphi_s \cdot \frac{M}{R}, \quad (2.5)$$

де  $G_B$  – кількість пари рідини, що виходить з апарата при «великому диханні», кг/цикл;

$V_p$  – об'єм пароповітряної суміші, що витискається з апаратури, м<sup>3</sup>;

$P_p$  – робочий тиск в апараті, кПа;

$T_p$  – робоча температура в апараті, К;  
 $M$  – молекулярна маса горючої рідини, кг/кмоль;  
 $R=8,31431$  – універсальна газова стала, кДж/кмольК.

$$G_M = V_B \cdot P_p \cdot \left( \frac{1 - \varphi_1}{T_1} - \frac{1 - \varphi_2}{T_2} \right) \cdot \frac{\varphi}{1 - \varphi} \cdot \frac{M}{R}, \quad (2.6)$$

де  $G_M$  – кількість пари рідини, що виходить із апарата при «малому диханні», кг/цикл;

$V_B$  – внутрішній вільний об'єм апарата, що заповнюється паром чи газом під тиском, м<sup>3</sup>;

$\varphi_1, \varphi_2$  – концентрація насиченої пари рідини відповідно за температури  $T_1$  та  $T_2$ , об. частки (кг/м<sup>3</sup>, %);

$\bar{\varphi} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$  – середня концентрація пари в апараті, об. частки (кг/м<sup>3</sup>, %).

Кількість горючих парів, що виходять із періодично діючих апаратів під час їхньої розгерметизації (наприклад, апарати, що відкриваються на завантаження та розвантаження продуктів), визначається за формулою:

$$G_p = V_B \cdot \frac{\varphi_s}{T_p} \cdot (P_p - P_{бар}) \cdot \frac{M}{R}, \quad (2.7)$$

де  $G_p$  – кількість пари, що виходить із відкритого апарата, кг/цикл;

$P_{бар}$  – атмосферний (барометричний) тиск, кПа.  $P_{бар}=101$ кПа.

Під час експлуатації закритих апаратів з рідинами та газами, навіть за нормального герметичного ущільнення, завжди є умови для виходу деякої частини рідини, пари або газу через нещільності у прокладках, сальниках, зварних швах.

Інтенсивність виходу парів або газів з апарата, що працює під тиском, може бути різною, залежно від стану апаратів і трубопроводів, режиму їхньої роботи і визначається за формулою:

$$I_p = K_z \cdot K_p \cdot V_B \cdot \sqrt{\frac{M}{T_p}}, \quad (2.8)$$

де  $I_p$  – інтенсивність виходу парів чи газів з апарата, кг/с;

$K_3$  – коефіцієнт, який ураховує ступінь зносу обладнання, приймається у межах від 1 (нове обладнання) до 2 (зношене обладнання);

$K_p$  – коефіцієнт, що залежить від тиску парів або газів в апараті (табличні дані).

Масу парів, що виділяються до виробничого приміщення з «дихаючих» або відкритих для розвантаження продукту герметичних апаратів, визначають за формулою:

$$m_{\text{п}} = \frac{G_i \cdot N \cdot \tau}{3600}, \quad (2.9)$$

де  $m_{\text{п}}$  – маса парів, що надходять до виробничого приміщення з періодично діючих апаратів, кг;

$G_i$  – кількість парів, що надходять до приміщення (за один цикл «великого дихання», «малого дихання» або при розгерметизації апарата), кг/цикл;

$N$  – кількість циклів (операцій) протягом години, год<sup>-1</sup>;

$\tau$  – тривалість (період) роботи апарата, с.

Масу парів або газів, що виділяються з апаратів за певний період роботи обладнання, визначають за формулою:

$$m_p = I_p \cdot \tau, \quad (2.10)$$

де  $m_p$  – маса парів або газів, які виділяються з апаратів, що працюють під тиском, кг;

$I_p$  – інтенсивність виходу парів або газів з апарата, що працює під тиском, кг/с.

Якщо інтенсивність виходу горючих речовин з апарата є відносно невеликою і вони рівномірно розподіляються у всьому об'ємі виробничого приміщення, тоді їх концентрацію визначають за формулами:

– за відсутності повітрообміну в приміщенні:

$$\varphi_{\text{д}} = \frac{m}{V_{\text{в}}}; \quad (2.11)$$

– за наявності повітрообміну в приміщенні:

$$\varphi_{\text{д}} = \frac{3600 \cdot m}{V_{\text{в}} \cdot A \cdot \tau}, \quad (2.12)$$

де  $\varphi_{\text{д}}$  – дійсна (фактична) концентрація горючих речовин у приміщенні, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – сумарна маса горючих речовин, що надходять до приміщення з апаратів, кг;

$\tau$  – тривалість (період) роботи апарата, с;

$V_B$  – вільний об'єм приміщення, який визначається за формулою:

$$V_B = 0,8 \cdot L \cdot B \cdot H, \quad (2.13)$$

де  $L, B, H$  – відповідно довжина, ширина та висота приміщення, м;

$A$  – кратність повітрообміну (вентиляції), год<sup>-1</sup>.

Гранично допустимі за умовами вибухобезпеки значення дійсної концентрації горючих речовин у виробничому приміщенні (ГДВК) визначають наступним чином:

$$\varphi_{\text{без}} \leq 0,2 \cdot \varphi_H. \quad (2.14)$$

Для розрахунку параметрів (об'єму) вибухонебезпечних зон, які можуть утворюватися поблизу місць розташування «дихаючої» арматури апаратів та безпосередньо біля обладнання з відкритою поверхнею випаровування пожежонебезпечних рідин, застосовують рівняння:

$$V_{\text{ВНК}} = \frac{m}{\varphi_H^*} \cdot K_B, \quad (2.15)$$

де  $V_{\text{ВНК}}$  – об'єм місцевої зони ВНК, м<sup>3</sup>;

$\varphi_H^*$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я, кг/м<sup>3</sup>;

$K_B$  – коефіцієнт запасу надійності, дорівнює 2.

## 2.2 Методика розв'язання основних типів задач

**Задача 2.2.1.** Зробити висновок про горючість середовища у резервуарі з легкозаймистою рідиною (ЛЗР) та знайти об'єм вибухонебезпечної зони поблизу його дихального пристрою, якщо протягом години сталося одне «велике дихання». ЛЗР – ацетон; об'єм резервуара – 500 м<sup>3</sup>; ступінь заповнення  $\varepsilon = 0,85$ ; робоча температура  $t_p = 10$  °С; робочий тиск  $P_p = 101$  кПа.

### **Розв'язання:**

1. Об'єм вибухонебезпечної зони поблизу місця виходу ацетону з резервуара визначаємо за формулою (2.15), для чого спочатку розраховуємо тиск та концентрацію насичених парів ацетону за формулами (1.9), (1.8):

$$P_s = 10^{\left(6,37551 - \frac{1284,721}{10+237,086}\right)} = 15,11 \text{ кПа},$$

де  $A=6,37551$ ;  $B=1281,721$ ;  $C_a=237,088$  – константи Антуана (табл. 2 додатка) [10-13].

$$\varphi_s = \frac{P_s}{101} = \frac{15,11}{101} = 0,15 \text{ об.ч. або } 15 \% \text{ об.}$$

1. Визначаємо кількість парів ацетону, що виходять із дихального пристрою апарата під час його заповнення горючою рідиною («велике дихання») за формулою (2.5):

$$G_B = 425 \cdot \frac{101}{283} \cdot 0,15 \cdot \frac{58,08}{8,31431} = 158,93 \text{ кг/цикл},$$

де  $V_p = \varepsilon \cdot V_{an} = 0,85 \cdot 500 = 425 \text{ м}^3$  – об'єм ацетону, що надходить до апарата.

3. Масу парів ацетону, що надходять із «дихаючого» апарата до виробничого приміщення, обчислюємо за формулою (2.9):

$$m_n = \frac{158,93 \cdot 3600}{3600} = 158,93 \text{ кг.}$$

4. Для того, щоб визначити об'єм вибухонебезпечної зони поблизу місця виходу ацетону з резервуара, перерахуємо значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я з об'ємних часток у кілограми в кубічному метрі за формулами (1.10) та (1.11):

$$V_t = 22,41 \cdot \frac{283}{273} \cdot \frac{101}{101} = 23,2 \text{ м}^3/\text{кмоль};$$

$$\varphi_H^* = \frac{58,08 \cdot 0,022}{23,2} = 0,055 \text{ кг/м}^3.$$

5. Тоді об'єм вибухонебезпечної зони поблизу дихального пристрою апарата з ацетоном становить:

$$V_{ВНК} = \frac{158,93}{0,055} \cdot 2 = 5779 \text{ м}^3.$$



Таким чином, об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій поблизу дихального пристрою апарата з ацетоном становить  $5779 \text{ м}^3$ . Вибухонебезпечне середовище усередині апарата з ацетоном утворюється, якщо в об'ємі апарата є окисник і виконується умова (1.1).

**Задача 2.2.2.** У виробничому приміщенні при заповненні апаратів залишки горючої рідини н-гептану накопичуються у піддоні. Визначити кількість н-гептану, що випаровується з відкритої поверхні протягом 1 години, якщо температура повітря та рідини  $t_p = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , площа поверхні випаровування  $F = 0,7 \text{ м}^2$ .

**Розв'язання:**

1. Кількість н-гептану, що випаровується з відкритої поверхні піддона, визначається за формулою (2.1), за якою спочатку розраховуємо тиск насичених парів н-гептану за формулою (1.9):

$$P_s = 10^{\left(6,07647 - \frac{1295,405}{20+219,819}\right)} = 4,73 \text{ кПа.}$$

2. Визначаємо концентрацію насичених парів горючої рідини над її поверхнею за формулою (1.8):

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_p} = \frac{4,73}{101} = 0,047 \text{ об.ч.,}$$

де  $P_p = 101 \text{ кПа}$ .

3. Густина парів н-гептану за робочої температури обчислюємо за формулою (2.4):

$$\rho_t = \frac{M}{V_t} = \frac{100,21}{24,05} = 4,166 \text{ кг/м}^3,$$

де  $V_t$  – молярний об'єм парів за робочої температури,  $\text{м}^3/\text{кмоль}$ ; визначається за формулою (1.11) і становить:

$$V_t = 22,4 \cdot \frac{293}{273} \cdot \frac{1 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 24,05 \text{ м}^3/\text{кмоль.}$$

4. Розраховуємо значення коефіцієнта дифузії (за робочої температури) за формулою (2.3):

$$D_t = 0,0609 \cdot \left( \frac{293}{273} \right)^2 = 0,0701 \text{ см}^2/\text{с} = 7,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с},$$

де  $D_0 = 0,0609 \text{ см}^2/\text{с}$  – табличні значення коефіцієнта дифузії (табл. 1 додатка) за нормальних умов:  $T_0 = 273 \text{ К}$ ;  $P_0 = 101 \text{ кПа}$ .

5. Кількість парів н-гептану, що випаровується протягом 1 години, становить:

$$m_H = 1,155 \cdot 0,047 \cdot 4,166 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{7,01 \cdot 10^{-6} \cdot 3600}{1 - 0,047}} = 0,026 \text{ кг}.$$

Отже, за годину з відкритої поверхні випаровується 0,026 кг н-гептану.

**Задача 2.2.3.** Визначити кількість ацетилену, що виходить через нещільності апаратів до виробничого приміщення за допустимих умов герметизації, якщо відомо, що робочий тиск у апараті  $P_p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , у трубопроводах  $P_p = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , об'єм апарата  $V = 10 \text{ м}^3$ , температура газу в апаратах  $t_p = 80 \text{ }^\circ\text{С}$ , у трубопроводах  $t_p = 30 \text{ }^\circ\text{С}$ ; тривалість розгерметизації становить 8 годин. При розв'язанні задачі прийняти:  $K_p = 0,168$  при  $P_p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;  $K_p = 0,166$  при  $P_p = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

**Розв'язання:**

1. Кількість ацетилену, що виходить через нещільності апаратів, визначаємо за формулами (2.8) та (2.10), де приймаємо коефіцієнт зносу апаратів  $K_3 = 1,5$ ; молекулярна маса ацетилену  $M = 26$ . Тоді інтенсивність виходу газу з апарата та його кількість, що вийшла за 8 годин роботи, відповідно становить:

а) з апаратів

$$I_{\text{ан}} = 1,5 \cdot 0,168 \cdot 50 \cdot \sqrt{\frac{26}{273 + 80}} = 3,4 \text{ кг/год}; \quad m_{\text{ан}} = 3,4 \cdot 8 = 27,2 \text{ кг};$$

б) із трубопроводів при  $K_3 = 1$

$$I_{\text{тр}} = 1 \cdot 0,166 \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{26}{273 + 30}} = 0,49 \text{ кг/год}; \quad m_{\text{тр}} = 0,49 \cdot 8 = 3,92 \text{ кг}.$$

2. Загальна кількість ацетилену, що надходить із системи через нещільності, становить:

$$m_{\text{зар}} = m_{\text{ан}} + m_{\text{тр}} = 27,2 + 3,92 = 31,12 \text{ кг.}$$

Таким чином, через нещільності апаратів і трубопроводів до виробничого приміщення за 8 годин надходить 31,12 кг ацетилену.

## 2.3 Контрольні завдання

**Завдання 2.3.1.** Визначити середню концентрацію парів (або газів) у виробничому приміщенні, обладнаному припливно-витяжною вентиляцією. У виробничому процесі використовується нове герметичне обладнання, яке працює під підвищеним тиском. Вид горючої речовини в апараті, робочий тиск  $P_p$ , робочу температуру  $t_p$ , об'єм апарата  $V_{\text{ап}}$ , заповнений рідиною та її паром чи газами, а також кратність повітрообміну  $A$  і розміри приміщення  $l \cdot b \cdot h$  прийняти за табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники для виконання завдання 2.3.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча речовина	Метан	Метиловий спирт	Етан	Етиловий спирт	Пропан	Пропиловий спирт	Бутан	Бутиловий спирт	Аміак	Ацетон
$P_p$ , МПа	2,0	4,5	8,0	0,6	10,0	1,5	4,0	2,5	6,0	32,0
$t_p$ , °С	350	150	300	180	250	200	325	225	450	380
$V_{\text{ап}}$ , м <sup>3</sup>	2,5	6,5	2,0	8,5	15,0	10,0	13,0	7,5	40,0	6,0
$A$ , год <sup>-1</sup>	2	6	4	8	7	5	3	7	9	10
$l \cdot b \cdot h$ , м	20·10·4		18·12·5		16·16·4		12·12·6		25·20·7	

**Завдання 2.3.2.** Визначити об'єм місцевих зон ВНК, що утворюються протягом доби поблизу дихального пристрою апарата, розташованого у цеху, за рахунок «великих і малих дихань». Вид продукту, геометричний об'єм апарата  $V_{\text{ап}}$ , ступінь його заповнення  $\varepsilon$  та робочі температури продукту і повітря в денний  $t_d$  і нічний  $t_n$  час взяти за табл. 2.2. Робочий тиск в апараті – атмосферний ( $P_p=101$  кПа). Апарат заповнюється один раз наприкінці денної зміни.

**Завдання 2.3.3.** У приміщенні цеху розмірами  $l \cdot b \cdot h$  встановлені три однакових змішувачі з дихальними пристроями, що заповнюються водним розчином горючої рідини. Апарати працюють періодично із тривалістю циклу 1 год і тривалістю заповнення 20 хв. Визначити об'єм зони ВНК поблизу дихального пристрою кожного змішувача, а також концентрацію горючих парів у приміщенні цеху, в якому відсутня вен-

тиляція. Вид горючої рідини, її концентрацію та інші параметри прийняти за табл. 2.3. Тиск у змішувачах – атмосферний.

Таблиця 2.2 – Показники для виконання завдання 2.3.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	Толуол	Циклогексан	Ізооктан	Метанол	Метилкетон	Октан	Ацетон	Бензол	Гексан	Гептан
$V_{ан}, м^3$	50	100	75	200	50	20	40	60	80	150
$\epsilon$	0,5	0,6	0,7	0,2	0,4	0,8	0,6	0,5	0,9	0,4
$t_d, ^\circ C$	22	24	20	23	21	22	20	24	18	20
$t_n, ^\circ C$	15	16	14	15	12	10	13	12	11	14

Таблиця 2.3 – Показники для виконання завдання 2.3.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча рідина	Етиловий спирт	Ізопропиловий спирт	Ацетон	Метилловий спирт	Оцтова кислота	Ізопропиловий спирт	Етиловий спирт	Ацетон	Оцтова кислота	Метилловий спирт
Концентрація водного розчину, % мас.	40	40	55	55	70	70	25	25	90	90
Об'єм 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, $\epsilon$	0,9	0,7	0,4	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,9	0,5
Температура середовища, $^\circ C$	35	40	15	30	70	35	45	20	60	25
$l \cdot b \cdot h, м$	9·6·4		12·8·4		10·5·4		12·6·6		12·8·5	

**Примітка.** Для оцінки можливості утворення ВНК у змішувачах слід користуватися табл. 8 додатка.

**Завдання 2.3.4.** Оцінити можливість утворення ВНК у всьому об'ємі приміщення складу при внесенні до нього баків із ЛЗР після тривалого зберігання на відкритому повітрі. Приміщення складу не обладнане припливно-витяжною вентиляцією. Баки обладнані дихальними пристроями. Вид ЛЗР у баках прийняти за табл. 2.2, тиск у баках – атмосферний. Геометричний об'єм баків  $V_r$ , їхню кількість  $N$  і ступінь заповнення рідиною  $\epsilon$ , а також температуру повітря ззовні приміщення  $t_3$  і у приміщенні  $t_n$  прийняти за табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Показники для виконання завдання 2.3.4

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

**Завдання 2.3.5.** У процесі приготування продукту (розчинника) використовується 6 періодично діючих апаратів, що попарно працюють у єдиному циклі: заповнення – 10 хв, нагрів – 15 хв, перемішування – 15 хв, розвантаження – 20 хв. Робоча температура продукту в апараті під час перемішування дорівнює  $0,5 t_{\text{кип}}$  ( $t_{\text{кип}}$  – температура кипіння). Перемішування здійснюють під тиском 0,15 МПа, інші стадії – за атмосферного тиску. Визначити концентрацію парів у виробничому приміщенні, що має вільний об'єм  $400 \text{ м}^3$  і повітрообмін кратністю  $4 \text{ год}^{-1}$ . Вид розчинника та інші параметри прийняти за табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Показники для виконання завдання 2.3.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розчинник	Бензол	Гептан	Ізопропиловий спирт	Ксилол	Октан	Бутиловий спирт	Толуол	Хлорбензол	Етилацетат	Етиловий спирт
Об'єм апарата, $\text{м}^3$	0,4	1,2	1,4	1,2	0,8	0,9	1,1	0,7	0,5	0,6
Ступінь заповнення, $\varepsilon$	0,3	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3	0,6	0,7	0,4
Початкова температура продукту $^\circ\text{C}$	15	20	18	22	16	21	24	17	23	19

**Примітка.** Сумарна маса парів розчинника, що надходять до приміщення, утворюється за рахунок «великого дихання» під час заповнення апарата, «малого дихання» при нагріванні, а також викиду пароповітряної суміші при розгерметизації апарата для розвантаження продукту.

**Завдання 2.3.6.** У виробничій лабораторії зразки виробів для проведення випробувань на хімічну стійкість занурюють у ванну з розчинником (вид розчинника прийняти за табл. 2.2). Ванна обладнана місцевим витяжним пристроєм. Габарити ванни –  $1,5 \cdot 0,8 \text{ м}$ . Температуру повітря у приміщенні й температуру розчинника прийняти за табл. 2.6. Визначити час, протягом якого концентрація парів у приміщенні досягне гранично допустимого значення (за умов вибухобезпеки), у разі зупинки роботи системи місцевих витяжних пристроїв. Вільний об'єм

приміщення становить 180 м<sup>3</sup>. Загальнообмінна вентиляція у приміщенні відсутня, а швидкість руху повітря над поверхнею випаровування не перевищує 0,1 м/с.

Таблиця 2.6 – Показники для виконання завдання 2.3.6

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

**Завдання 2.3.7.** Під час фасування готової продукції в бутилі надлишок пожежонебезпечної рідини накопичується у піддоні розміром 2,5x0,5 м. Визначити об'єм місцевої зони ВНК, яка утворилася при випаровуванні рідини під час годинної обідньої перерви, коли загальнообмінну вентиляцію у приміщенні цеху було вимкнено. Вид продукту та інші дані для розрахунку прийняти за табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Показники для виконання завдання 2.3.7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	Бензол		Ацетон		Толуол		Метилловий спирт		Етиловий спирт	
Температура повітря та продукту, °С	17	24	15	20	18	23	22	24	25	30
Кількість продукту в піддоні, л	10	12	5	20	18	50	30	15	60	35

**Примітка.** При визначенні маси рідини, що випарувалася, необхідно врахувати її фактичну кількість у піддоні.

## **3 ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ПРИ ВИХОДІ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН ІЗ ПОШКОДЖЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

### **3.1 Теоретична частина**

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

Слід розібратись, до яких наслідків призводять аварії та пошкодження технологічного обладнання, що супроводжуються виходом горючих речовин назовні; необхідно знати види та причини пошкодження, вміти визначати кількість речовин, що виходять назовні під час локальних і повних пошкоджень.

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

$$m_{\text{н}} = \alpha \cdot f \cdot \omega \cdot \rho_t \cdot \tau, \quad (3.1)$$

де  $m_{\text{н}}$  – кількість горючих речовин, що виходять назовні, кг;  
 $\alpha$  – коефіцієнт витрати, змінюється в межах  $0,45 \div 0,85$ ;  
 $f$  – площа перерізу отвору, через який горюча речовина виходить назовні,  $\text{м}^2$ ;  
 $\omega$  – швидкість витікання речовини через отвір, м/с;  
 $\rho_t$  – густина речовини за робочої температури,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $\tau$  – тривалість витікання, с.

Швидкість витікання рідини через отвір у трубопроводі або в корпусі апарата ( $P=\text{const}$ ) визначають за формулою:

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

де  $g=9,81 \text{ м}/\text{с}^2$  – прискорення сили ваги;  
 $H_{\text{прив}}$  – приведений напір в апараті, під дією якого відбувається витікання рідини через отвір (м), визначають за формулою:

$$H_{\text{прив}} = \frac{P_{\text{р.н.}}}{\rho_t \cdot g} + H, \quad (3.3)$$

де  $P_{\text{р.н.}}$  – надлишковий тиск середовища в апараті над поверхнею рідини, Па ( $P_{\text{р.н.}}=P_{\text{р}}-1 \cdot 10^5$  Па, де  $P_{\text{р}}$  – абсолютний робочий тиск середовища в апараті, Па);

$H$  – висота стовпа рідини, м.

Якщо витікання рідини проходить самопливом, формула (3.3) набуває вигляду:

$$H_{\text{прив}}=H. \quad (3.4)$$

Швидкість витікання перегрітих парів або газів через отвір залежить від режиму витікання та визначається за наступними формулами:

– для докритичного режиму витікання, коли  $P_c > P_{\text{кр}}$

$$\omega_{\text{докр}} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \frac{R}{M} \cdot (t_p + 273) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_c}{P_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}; \quad (3.5)$$

– для критичного режиму витікання, коли  $P_c \leq P_{кр}$

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{R}{M} \cdot (t_p + 273)}, \quad (3.6)$$

де  $P_c$  – тиск навколишнього середовища, до якого відбувається витікання газів, Па ( $P_c = P_{бар}$ );

$P_{кр}$  – критичний тиск, який визначається за формулою:

$$P_{кр} = P_p \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3.7)$$

де  $k$  – показник адіабати. Значення  $k$  для різних парів та газів наведені в табл. 5 додатка;

$R$  – універсальна газова стала,  $R=8314,31$  Дж/кг·К.

Кількість горючих речовин, що виходять назовні із системи під час повного пошкодження апаратів, визначається за формулою:

$$m_p = m_{ап} + m_{тр1} + m_{тр2}, \quad (3.8)$$

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

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

$m_{тр1}$ ,  $m_{тр2}$  – кількість горючих речовин, що подають до апарата через трубопроводи до моменту його вимкнення, кг.

Для апаратів із рідинами або скрапленими газами  $m_p$  визначається за формулою:

$$m_p = \left( V_{ап} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n g_{ін} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k L_{jтр} \cdot f_{jтр} \right) \cdot \rho_{t,p}. \quad (3.9)$$

Для апаратів зі стисненими газами  $m_r$  визначається за формулою:

$$m_r = \left( V_{ап} \cdot \frac{P_p}{P_0} \varepsilon + \sum_{i=1}^n g_{ік} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k L_{jтр} \cdot f_{jтр} \cdot \frac{P_p}{P_0} \right) \cdot \rho_{t,r}, \quad (3.10)$$

де  $V_{ап}$  – внутрішній об'єм апарата, м<sup>3</sup>;



$\varepsilon$  – ступінь (коефіцієнт) заповнення апарата;

$g_{in}, g_{ik}$  – відповідно продуктивність насоса, компресора (або пропускна спроможність трубопроводу), які подають до апарата горючі речовини,  $m^3/c$ ;

$L_{jтр}, f_{jтр}$  – відповідно довжина (м) та переріз ( $m^2$ ) ділянки трубопроводу (від аварійного апарата до запірнього пристрою), з якого витікає рідина або газ;

$\rho_{т.р}, \rho_{т.г}$  – густина рідини або газу,  $кг/м^3$ ;

$k$  – кількість ділянок трубопроводів, сполучених з аварійним апаратом.

Тривалість відключення насоса або компресора дорівнює 120 с (при автоматичному відключенні спонукача витрат або запірнього пристрою на трубопроводах) або 300 с (при ручному відключенні).

Час повного випаровування рідини, розлитої на підлозі виробничого приміщення під час аварії технологічного обладнання, визначається за формулою:

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

де  $F_B$  – площа випаровування рідини,  $m^2$ . Площу випаровування  $F_B$  рідини у разі розливу її на підлогу виробничого приміщення приймають згідно [5], враховуючи, що 1л суміші та розчинів, які містять 70 % та менше (за масою) розчинників, розливається на площі  $0,5 m^2$ , а 1 л інших рідин – на  $1 m^2$  підлоги приміщення; площу випаровування рідини у разі розливу її на горизонтальну поверхню відкритих технологічних установок визначають виходячи з розрахунку, що 1 л сумішей і розчинів, що містять 70 % і менше (за масою) розчинників, розливається на площі  $0,1 m^2$ , а 1 л інших рідин – на  $0,15 m^2$ .

$W_B$  – інтенсивність випаровування рідини ( $кг/м^2 \cdot с$ ), визначається за формулою:

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

де  $\eta$  – коефіцієнт, який залежить від температури та швидкості руху повітря (числові значення коефіцієнта  $\eta$  наведені у табл. 7 додатка).

Об'єм зони, в якій може виникнути ВНК горючих парів при випаровуванні розлитої рідини, визначають за формулою (2.15), а концентрацію парів у приміщенні – за формулами (2.11) та (2.12).

Тривалість утворення ВНК у виробничому приміщенні (при пошкодженні апаратів із газами та парами) визначають за формулами:

– за відсутності повітрообміну в приміщенні

$$\tau_r = \frac{V_B}{q} \cdot \ln \frac{1}{1 - \varphi_H} ; \quad (3.13)$$

– за наявності повітрообміну в приміщенні

$$\tau_r = \frac{V_B}{a + q} \cdot \ln \frac{q}{q - (a + q) \cdot \varphi_H} , \quad (3.14)$$

де  $\tau_r$  – тривалість зростання ВНК у приміщенні, с;  
 $a$  – продуктивність вентиляційної системи, м<sup>3</sup>/с;  
 $q$  – інтенсивність надходження парів або газів до приміщення з апарата, м<sup>3</sup>/с.

Інтенсивність надходження парів або газів до приміщення визначається за формулою:

$$q = \alpha \cdot f \cdot \omega, \quad (3.15)$$

або

$$q = \frac{m_{г,п}}{\rho_t \cdot \tau}, \quad (3.16)$$

де  $m_{г,п}$  – маса горючих газів або парів, кг.

Горючий пил і волокна, що надходять до виробничих приміщень із технологічних апаратів, постійно накопичуються в них за рахунок осідання та утворення відкладень пилу на підлозі, будівельних конструкціях, коробах систем вентиляції, як за нормальної роботи, так і при аваріях технологічного обладнання.

Масу пилу, що знаходиться у стані аерозолі (завислий стан) в об'ємі приміщення внаслідок аварійної ситуації,  $m$  (кг), визначають за формулою:

$$m = m_{зв} + m_{ав}, \quad (3.17)$$

де  $m_{зв}$  – розрахункова маса пилу, що перейшов у стан аерозолі, кг;

$m_{ав}$  – розрахункова маса пилу, яка надійшла до приміщення внаслідок аварійної ситуації, кг.

Розрахункову масу пилу  $m_z$ , що перейшов у стан аерозолі, визначають за формулою:

$$m_{zv} = K_z \cdot m_p, \quad (3.18)$$

де  $K_z$  – частка відкладеного у приміщенні пилу, здатного перейти у завислий стан унаслідок аварійної ситуації. Якщо відсутні експериментальні дані стосовно величини  $K_z$ , то допускається приймати  $K_z = 0,9$ ;

$m_p$  – маса відкладеного в приміщенні пилу до початку аварії, кг.

Розрахункова маса пилу  $m_{ав}$ , що надійшов до приміщення внаслідок аварійної ситуації (при зруйнуванні технологічного обладнання), визначається за формулою:

$$m_{ав} = (m_{ап} + q \cdot \tau) \cdot K_{п}, \quad (3.19)$$

де  $m_{ап}$  – маса горючого пилу, що надходить до приміщення зі зруйнованого апарата, кг;

$q$  – продуктивність пристрою, який подає пиловидні речовини до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau$  – час перекривання трубопроводів, який визначається за [5], де розрахунковий час перекривання трубопроводів слід приймати рівним 120 с – для автоматичного перекривання та 300 с – у разі ручного перекривання;

$K_{п}$  – коефіцієнт пилення, який дорівнює відношенню маси завислого в повітрі пилу до всієї маси пилу, що надійшов з апарата до приміщення. Якщо відсутні експериментальні дані про величину  $K_{п}$ , допускається приймати: для пилу з дисперсністю не менше ніж 350 мкм –  $K_{п} = 0,5$ ; для пилу з дисперсністю менше ніж 350 мкм –  $K_{п} = 1,0$ .

Масу пилу, що відклався у приміщенні до початку аварії, визначають за формулою:

$$m_{п} = K_r (1 - K_{пр}) \cdot (m_1 + m_2), \quad (3.20)$$

де  $K_r$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладеного пилу;

$K_{пр}$  – коефіцієнт ефективності пилоприбирання. Приймається при ручному пилоприбиранні: сухому – 0,6; вологому – 0,7. У разі застосування автоматичних засобів прибирання пилу коефіцієнт ефективності пилоприбирання  $K_{пр}$  становить: для рівної підлоги – 0,9; для підлоги з вибоїнами (до 5 % площі) – 0,7;

$m_1$  – маса пилу, який осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між генеральними прибираннями, кг;

$m_2$  – маса пилу, що осідає на доступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між поточними прибираннями, кг.

Масу пилу  $m_i$  ( $i=1$  (важкодоступні поверхні),  $i=2$  (доступні поверхні)), кг, що осідає на різних поверхнях у приміщенні за період між прибираннями, можна визначити з наступного виразу:

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \beta_i, \quad (i = 1, 2), \quad (3.21)$$

де  $M_1 = \sum_j M_{1j}$  – маса пилу, що надходить до об'єму приміщення за період часу між генеральними прибираннями пилу, кг;

$M_{1j}$  – маса пилу, що виділяється одиницею обладнання, як викидає пил, за період часу між генеральними прибираннями пилу, кг;

$M_2 = \sum_j M_{2j}$  – маса пилу, що надходить до об'єму приміщення за період часу між поточними прибираннями пилу, кг;

$M_{2j}$  – маса пилу, що виділяється одиницею обладнання, яке викидає пил, за період часу між поточними прибираннями пилу, кг;

$\alpha$  – частка пилу, який потрапляє до об'єму приміщення і який видаляється із приміщення витяжною вентиляційною системою. Допускається приймати  $\alpha = 0$ ;

$\beta_1, \beta_2$  – частки пилу, який потрапляє до приміщення та осідає відповідно на важкодоступних і доступних для прибирання поверхнях приміщення ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ). У разі відсутності даних про числове значення коефіцієнтів  $\beta_1, \beta_2$ , допускається приймати  $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$  [5].

Величина  $M_i$  ( $i = 1, 2$ ) також може бути визначена експериментально в період максимального навантаження обладнання за формулою:

$$M_i = \sum_j (G_{i,j} \cdot F_{i,j}) \cdot \tau_i \quad (i = 1, 2), \quad (3.22)$$

де  $G_{1j}, G_{2j}$  – інтенсивність пиловідкладень відповідно на важкодоступних  $F_{1j}$  ( $m^2$ ) та доступних  $F_{2j}$  ( $m^2$ ) поверхнях,  $кг \cdot m^{-2} \cdot c^{-1}$ ;

$\tau_1, \tau_2$  – відрізок часу відповідно між генеральними та поточними прибираннями пилу, с.

Дійсну концентрацію завислого в повітрі приміщення пилу  $\varphi'_д$ , що утворюється внаслідок аварії (повного руйнування апарата), визначають за формулою:

$$\varphi'_д = \frac{m_{зв} + m_{ав}}{V_в}. \quad (3.23)$$

Кожний апарат, трубопровід розраховані на роботу з відповідною величиною внутрішнього тиску, незначне підвищення якого під час роботи апарата буде супроводжуватись збільшенням внутрішніх напружень у матеріалі обладнання.

Підвищений тиск в апаратах виникає зі зростанням температури, порушенням нормального процесу конденсації парів, з потраплянням до високотемпературних апаратів рідин із низькою температурою кипіння, з виникненням у технологічному обладнанні гідродару тощо.

Величину перепаду тиску в лініях для подолання опору й утворення необхідної швидкості руху продукту  $\Delta P$  визначають за формулою:

$$\Delta P = \left( \sum_{i=1}^n \xi_i + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{\omega^2 \rho_t}{2}, \quad (3.24)$$

а загальний тиск – із виразу:

$$P_k = P_n + \Delta P, \quad (3.25)$$

де  $\Delta P$  – втрати тиску за збільшення опору ліній, Па;

$P_k$  – кінцевий тиск у системі за збільшення опору ліній, Па;

$\xi_i$  – коефіцієнт  $i$ -го місцевого опору (табл. 19 додатка);

$l$  – довжина трубопроводу, м;

$\lambda$  – коефіцієнт опору тертя, що визначається залежно від режиму руху продукту з наступних формул (для труб круглого перерізу).

При  $Re \leq 2300$

$$\lambda = \frac{64}{Re}; \quad (3.26)$$

при  $2320 < Re \leq 10000$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}; \quad (3.27)$$

при  $Re > 10000$

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (3.28)$$

де  $d$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м;  
 $\Delta$  – абсолютна шорсткість стінок труб, м;

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_t}{\mu} - \text{число Рейнольдса};$$

$\omega$  – швидкість руху продукту в трубопроводі, м/с;  
 $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості продукту за робочої температури (табл. 12 додатка), Па·с.

Під час розрахунків приймають наступні значення величин  $\Delta$  (м):  
для нових сталевих суцільнотягнутих та зварних сталевих труб, а також оцинкованих труб:

$$\Delta = (0,1 - 0,2) \cdot 10^{-3};$$

- для нових чавунних труб:

$$\Delta = 0,3 \cdot 10^{-3};$$

- для суцільнотягнутих та зварених сталевих труб із незначною корозією:

$$\Delta = (0,2 - 0,3) \cdot 10^{-3};$$

- для старих сталевих труб, які зазнають значної корозії:

$$\Delta = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ та вище};$$

- для старих чавунних труб:

$$\Delta = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ та вище.}$$

Тиск у герметичних апаратах із газами та перегрітими парами за підвищення температури визначають за формулою:

$$P_k = P_n \cdot \frac{t_k + 273}{t_n + 273} \cdot z, \quad (3.29)$$

де  $P_n$  – початковий тиск в апараті, Па;  
 $t_n, t_k$  – відповідно початкова та кінцева температури газу, °С;  
 $z$  – коефіцієнт стиснення газу ( $z < 1$ ).

Кінцевий тиск в апаратах із насиченими парами рідин і за наявності рідкої фази за зміни температури визначають з виразу:

$$P_K = P_S = f(T_K), \quad (3.30)$$

де  $P_S$  – тиск насиченої пари за температури  $t_K$ , Па (1.9).

Приріст тиску у герметичному апараті або на ділянці трубопроводу, повністю заповненій рідиною, за підвищення температури визначають за формулою:

$$\Delta P = \frac{\beta - 3\alpha}{\beta_{ст}} \Delta t, \quad (3.31)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення рідини,  $K^{-1}$  (табл. 13 додатка);  
 $\beta_{ст}$  – коефіцієнт об'ємного стиснення рідини,  $m^2/H$  ( $Pa^{-1}$ ) (табл. 14 додатка);

$\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стінок апарата,  $K^{-1}$  (табл. 15 додатку);

$\Delta t = t_K - t_{п}$  – різниця між кінцевою та початковою температурами в апараті,  $^{\circ}C$ .

При проведенні технічних розрахунків можна користуватись спрощеною формулою (похибка розрахунку, в порівнянні з формулою (3.29) не перевищує 5–7 %):

$$\Delta P = \frac{\beta}{\beta_{ст}} \cdot \Delta t. \quad (3.32)$$

Допустимий ступінь заповнення ємнісних апаратів рідиною розраховують за формулою:

$$\varepsilon \leq 1 - \beta \Delta t_{max}, \quad (3.33)$$

де  $\Delta t_{max} = t_{max} - t_{min}$  – граничний очікуваний перепад температур, що спостерігається під час експлуатації апарата,  $^{\circ}C$ .

Необхідний вільний об'єм апарата  $V_B$ , не заповнений рідиною, визначають за формулою:

$$V_B \geq V_{ап} \cdot \Delta \beta t_{max}. \quad (3.34)$$

Приріст тиску у високотемпературних апаратах при попаданні до них та швидкому закипанні низькокиплячих рідин визначають за формулою:

$$\Delta P = 0,082 \cdot P_0 \cdot \frac{m \cdot (t_p + 273)}{M \cdot V_B}, \quad (3.35)$$

де  $m$  – маса низькокиплячої рідини, що потрапила до апарата і випаровується, кг;

$M$  – молекулярна маса рідини, що потрапила до апарата, кг/кмоль;

$V_B$  – вільний об'єм системи, м<sup>3</sup>;

$P_0$  – тиск навколишнього середовища, Па.

Приріст тиску в ректифікаційній колоні під час перегонки та ректифікації розчинів на атмосферних і вакуумних установках, внаслідок підвищення температури через порушення нормального процесу конденсації пари, визначають за формулою:

$$\Delta P = \frac{\alpha \cdot G_{\text{п}} \cdot \tau}{100 \cdot V_B \cdot \rho_t} \cdot P_0, \quad (3.36)$$

де  $\Delta P$  – приріст тиску в системі, Па;

$G_{\text{п}}$  – продуктивність апарата за паром, кг/с;

$P_0 = 1 \cdot 10^5$  Па – тиск навколишнього середовища;

$\tau$  – тривалість порушення нормального режиму конденсації, с;

$\alpha$  – коефіцієнт неповноти конденсації пари, %;

$\rho_t$  – густина пари рідини за робочих температури і тиску в апараті, кг/м<sup>3</sup>;

$V_B$  – вільний об'єм системи, м<sup>3</sup>.

Приріст тиску у трубопроводі при гідравлічному ударі визначають за формулою М.Е. Жуковського:

$$\Delta P = C \cdot \Delta \omega \cdot \rho_t, \quad (3.37)$$

де  $C$  – швидкість поширення ударної хвилі, м/с, яку визначають за формулою:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\rho_t \cdot \beta_{\text{ст}}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{d}{E \cdot S \cdot \beta_{\text{ст}}}}}, \quad (3.38)$$



де  $d$  – внутрішній діаметр труби, м;  
 $E$  – модуль пружності матеріалу труби, Па (табл. 15 та 20 додатка);  
 $S$  – товщина стінки труби, м;  
 $\Delta\omega$  – зменшення швидкості руху рідини у трубопроводі, м/с. Ви-  
 значається за формулою:

$$\Delta\omega = \omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{кін}}, \quad (3.39)$$

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

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

Якщо робоча температура не перевищує для вуглецевих і низьколегованих сталей  $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для високолегованих сталей  $525\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то за нормативне допустиме напруження приймають найменше з наступних двох значень:

$$\sigma_{\text{доп}} = \min \left[ \frac{\sigma_{\text{м}}}{n_{\text{м}}}; \frac{\sigma_{\text{т}}}{n_{\text{т}}} \right], \quad (3.40)$$

де  $\sigma_{\text{доп}}$  – нормативно допустиме напруження, Па;

$\sigma_{\text{м}}$ ,  $\sigma_{\text{т}}$  – відповідно межа міцності й текучості матеріалу, Па (табл. 17 додатка);

$n_{\text{м}}$ ,  $n_{\text{т}}$  – запаси міцності відповідно по межі міцності та межі текучості; зазвичай при розрахунках хімічного та нафтохімічного обладнання приймають  $n_{\text{м}}=2,7-4,25$  та  $n_{\text{т}}=1,2-1,9$ .

За більш високих температур за нормативно допустиме напруження приймають:

$$\sigma_{\text{доп}} = \min \left[ \frac{\sigma_{\text{т}}^{\text{t}}}{n_{\text{т}}}; \frac{\sigma_{\text{п}}^{\text{t}}}{n_{\text{п}}} \right], \quad (3.41)$$

де  $\sigma_{\text{т}}^{\text{t}}$ ,  $\sigma_{\text{п}}^{\text{t}}$  – відповідно межі текучості та повзучості за робочих температур, Па;

$n_{\text{п}}$  – запас міцності по межі повзучості,  $n_{\text{п}}=1,15$ .

Значення нормативних допустимих напружень залежно від температури для деяких марок сталі наведені в табл. 17 додатка.

Розрахункові допустимі напруження для апаратів із горючими рідинами, парами та газами визначають за формулою:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{\text{доп}}, \quad (3.42)$$

де  $\eta$  – довідковий коефіцієнт, що визначається з наступних умов:

$\varphi_n$ , об. частки	$t_{\text{сп}}$ , °C	$\eta$
менше 0,05	менше 300	0,9
0,05–0,1	300–400	0,95
0,1 та більше	450 та більше	1,0

Небезпека руйнування апаратів та їх вузлів виникає, якщо не виконуються умови міцності:

$$\sigma \leq [\sigma], \quad (3.43)$$

де  $\sigma$  – фактичні напруження, які виникають в обладнанні, Па.

Величину температурних напружень  $\sigma_t$ , які виникають від нагрівання в жорстко закріплених ділянках трубопроводу або вузлах апарата, визначають за формулою:

$$\sigma_t = \alpha \cdot \Delta t \cdot E, \quad (3.44)$$

де  $\Delta t$  – зміна температури, град.;

$E$  – модуль пружності матеріалу труби, Па (табл. 15 та 20 додатка);

$\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стінок трубопроводу,

$K^{-1}$  (табл. 15 додатка).

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

$$\sigma_{\text{max}}^K = \frac{P_t}{F_K} \pm \frac{P \cdot E_K}{E_K \cdot F_K + E_T \cdot F_T}, \quad (3.45)$$

$$\sigma_{\text{max}}^T = \frac{P_t}{F_T} \pm \frac{P \cdot E_T}{E_K \cdot F_K + E_T \cdot F_T}, \quad (3.46)$$

де індекси «К» та «Т» відносяться до відповідних показників корпусу і труб;

$\sigma_{\max}$  – максимальні напруження в матеріалі, Па;

$F$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>.

Площа поперечного перерізу корпуса кожухотрубного теплообмінника визначається за формулою:

$$F_K = \pi \cdot D_K \cdot S_K, \quad (3.47)$$

де  $D_K$  та  $S_K$  – відповідно середній діаметр і товщина стінки корпуса теплообмінника.

Площа поперечного перерізу труб кожухотрубного теплообмінника визначається за формулою:

$$F_T = \frac{\pi}{4} \cdot (d_3^2 - d_B^2) \cdot Z, \quad (3.48)$$

де  $d_3$  та  $d_B$  – відповідно зовнішній та внутрішній діаметри труб, м;

$Z$  – число труб у пучці.

$P_t$  – сила, яка виникає між жорстко з'єднаним корпусом і трубами теплообмінника (за рахунок температурних напружень):

$$P_t = \frac{\lambda_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K}{\frac{1}{E_K \cdot F_K} + \frac{1}{E_T \cdot F_T}}, \quad (3.49)$$

де  $t_T, t_K$  – розрахункові температури труб і корпуса теплообмінника, °С.

$P$  – сила, яка виникає у результаті дії тиску середовища у трубному та міжтрубному просторах і визначається наступним чином:

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot [(D_B^2 - Z \cdot d_3^2) \cdot P_M + Z \cdot d_B^2 \cdot P_T], \quad (3.50)$$

де  $D_B$  – внутрішній діаметр корпуса теплообмінника, м;

$P_M, P_T$  – відповідно тиск у міжтрубному і трубному просторах, Па.

Небезпека руйнування теплообмінника виникає, якщо  $\sigma_{\max}^K$  або  $\sigma_{\max}^T$  будуть більше за  $[\sigma]$ .

Температурні напруження у стінках товстостінних апаратів, у яких  $(\beta = D_H / D_B) > 1,5$ , можна розрахувати за формулами (при перепаді температур за товщини стінки більше 10 °С):

– на внутрішній поверхні:

$$\sigma_t^B = \frac{\alpha \cdot E \cdot (t_3 - t_B)}{2 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left( \frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln \beta} \right); \quad (3.51)$$

– на зовнішній поверхні:

$$\sigma_t^3 = \frac{\alpha \cdot E \cdot (t_3 - t_B)}{2 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left( \frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1} - \frac{1}{\ln \beta} \right), \quad (3.52)$$

де індекси «в» та «з» вказують на відношення до внутрішньої або зовнішньої поверхні;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона (для сталей  $\mu=0,25-0,33$ ; для міді  $\mu = 0,31-0,34$ ; для чавуну  $\mu=0,23-0,27$ ; для алюмінію  $\mu=0,32-0,36$ ).

Одержаний при розрахунках за цими формулами знак вказує на характер напруження: знак «плюс» відповідає розтягненню, знак «мінус» – стисненню.

При  $|\sigma_t^B| > [\sigma]$  або  $|\sigma_t^3| > [\sigma]$  виникає небезпека пошкодження апарата.

Під час перевірки обладнання на міцність напруження в конструктивних елементах апаратів розраховують за різними формулами – залежно від виду навантаження, форми конструкції та інших показників. Для циліндричних частин апаратів, що працюють під тиском при  $\left( \beta = \frac{D_3}{D_B} \right) \leq 1,5$ , напруження становить:

$$\sigma = \frac{P \cdot [D_B + (S - C)]}{2(S - C) \cdot \varphi}; \quad (3.53)$$

при  $\beta > 1,5$

$$\sigma = \sqrt{3} \frac{P \cdot \beta^2}{(\beta^2 - 1) \cdot \varphi}, \quad (3.54)$$

де  $\sigma$  – напруження у стінці обичайки (циліндричної частини апарата), що працює під тиском, Па;

$P$  – тиск середовища в апараті, Па;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності шва. Для суцільнокованих, литих та витих судин  $\varphi=1$ , при ручному однобічному зварюванні  $\varphi=0,7$ ;

C – надбавка на корозію, м, яка може бути визначена з виразу:

$$C = p \cdot \tau, \quad (3.55)$$

де  $p$  – швидкість корозії матеріалу, зазвичай приймається не менше  $5 \cdot 10^{-5}$  м/рік.

$\tau$  – тривалість експлуатації обладнання, рік.

Для захисту апаратів (трубопроводів) від пошкоджень, за підвищення внутрішнього тиску в них, використовують *запобіжні клапани*. Основними розрахунковими параметрами запобіжного клапана є *тиск спрацьовування та перепускна спроможність* клапана.

Для розрахунку перепускної спроможності клапана для парів і газів користуються формулою:

$$G_k = 1,41 \cdot \alpha \cdot F \cdot V \cdot \sqrt{(P_{сп.н} - P_{с.н}) \cdot \rho_t}, \quad (3.56)$$

де  $G_k$  – максимальна перепускна спроможність запобіжного клапана, кг/с;

$\alpha$  – коефіцієнт витрати середовища через запобіжний клапан (величина  $\alpha$  становить 0,06–0,17 і приводиться в паспорті клапана (для повнопідйомних клапанів типу ППК і СППК дорівнює 0,16–0,17));

$F$  – площа прохідного перерізу клапана, м<sup>2</sup>;

$V$  – коефіцієнт, який приймають за табл. 3.2. Для рідин  $V=1$ ;

$P_{сп.н}$  – надлишковий тиск спрацьовування запобіжного клапана, МПа. ( $P_{сп.н} = P_{сп} - 0,1$  МПа);

$P_{сп}$  – абсолютний тиск спрацьовування запобіжного клапана, МПа;

$P_{с.н}$  – надлишковий тиск середовища, до якого відбувається скидання парів або газів, МПа. При скиданні парів або газів до атмосфери безпосередньо через клапан  $P_{с.н}$  становить:

$$P_{с.н} = 0; (P_{с.н} = P_c - 0,1 \text{ МПа}), \quad (3.57)$$

де  $P_c$  – тиск навколишнього середовища або абсолютний тиск середовища у закритій системі, куди здійснюється скидання парогазового середовища, МПа.

Тиск спрацьовування запобіжного клапана залежить від робочого тиску в апараті та визначається за табл. 3.1 [6]:

Таблиця 3.1– Визначення тиску спрацьовування запобіжного клапана

Робочий (надлишковий) тиск, $P_{p.n}$ , МПа	Тиск спрацьовування (надлишковий) $P_{сп.н}$
менше 0,3	$P_{p.n} + 0,05$
$0,3 \leq P_{p.n} < 6$	$1,15 \cdot P_{p.n}$
6 та більше	$1,1 \cdot P_{p.n}$

де  $P_{p.n} = P_p - 0,1$  МПа;

$P_p$  – робочий (абсолютний) тиск в апараті, МПа;

$\rho_t$  – густина середовища в апараті за робочої температури та тиску спрацьовування запобіжного клапана,  $\text{кг/м}^3$ , визначають за формулою:

$$\rho_t = 120,27 \frac{M \cdot P_{сп}}{t_p + 273}, \quad (3.58)$$

де  $P_{сп}$  – абсолютний тиск спрацьовування запобіжного клапана, МПа;

$t_p$  – робоча температура середовища в апараті, °С.

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнтів В

$p_2/p_1$	Коефіцієнти В за значенням показника адіабати К						
	1,24	1,30	1,40	1,66	2,0	2,5	3,0
0,00	0,464	0,472	0,484	0,513	0,544	0,582	0,612
0,04	0,474	0,482	0,494	0,524	0,556	0,594	0,625
0,12	0,495	0,503	0,516	0,547	0,580	0,620	0,653
0,20	0,519	0,527	0,531	0,573	0,609	0,651	0,685
0,32	0,563	0,572	0,587	0,622	0,660	0,706	0,743
0,40	0,598	0,609	0,625	0,662	0,702	0,751	0,788
0,50	0,656	0,667	0,685	0,725	0,765	0,807	0,836
0,60	0,730	0,741	0,757	0,790	0,822	0,855	0,878
0,72	0,818	0,826	0,837	0,860	0,883	0,905	0,920
0,80	0,873	0,878	0,886	0,903	0,919	0,935	0,945
0,92	0,951	0,953	0,956	0,963	0,969	0,975	0,979

Необхідну площу прохідного перерізу запобіжного клапана за максимальної продуктивності ( $G_{\max}$ ) в  $\text{кг/с}$  апарата по парогазовому середовищу (або за притоком до апарата середовища) під час аварійної ситуації визначають за формулою:

$$F = \frac{7,142 \cdot 10^{-4} \cdot G_{\max}}{\alpha \cdot B \cdot \sqrt{(P_{сп} - P_c) \cdot \rho_t}}. \quad (3.59)$$

Фактична площа прохідного перерізу запобіжного клапана  $F_k$  визначається за формулою:

$$F_k = 0,785d_c^2, \quad (3.60)$$

де  $d_c$  – діаметр сопла запобіжного клапана, м; числові значення діаметрів сопел та відповідні їм внутрішні діаметри відвідних патрубків наведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Діаметр сопла, м	0,012	0,03	0,04	0,05	0,072
Діаметр відвідного патрубка, м	0,032	0,08	0,1	0,125	0,2

Якщо під час перевірочних розрахунків запобіжних клапанів було встановлено, що  $F > F_k$ , то необхідно встановити запобіжний клапан більшої перепускної спроможності (з більшим діаметром сопла і, відповідно, з більшою площею прохідного перерізу клапана, які підбираються з наведеної вище таблиці; за необхідності пропонують улаштування двох і більше клапанів).

У випадку скидання парів чи газів з апарата по трубопроводу до закритої системи (до газгольдера), на свічку чи факел перепускна спроможність запобіжного клапана розраховується з урахуванням гідравлічного опору відвідного трубопроводу.

Кінцевий тиск у відвідному трубопроводі ( $P_k$ ) після клапана можна розрахувати за формулою:

$$P_k = \frac{G_{\max} \cdot P_{\text{вх}}}{\rho_{\text{від.тр.}} \cdot F_{\text{від.тр.}} \cdot \omega_{\text{вх}}}, \quad (3.61)$$

де  $P_{\text{вх}}$  – тиск на вході у відвідний трубопровід (на виході з відвідного патрубка запобіжного клапана), МПа;

$G_{\max}$  – максимальна перепускна спроможність запобіжного клапана, кг/с;

$\rho_{\text{від.тр.}}$  – густина середовища на виході з відвідного трубопроводу, кг/м<sup>3</sup>;

$F_{\text{від.тр.}}$  – площа перерізу відвідного трубопроводу, м<sup>2</sup>;

$\omega_{\text{вх}}$  – швидкість парогазового середовища на виході із запобіжного клапана, м/с. Визначають за формулою:

$$\omega_{\text{вх}} = \lambda_{\text{вх}} \cdot \omega_{\text{кр}}, \quad (3.62)$$

де  $\omega_{кр}$  – критична швидкість витoku газів чи парів із відвідного трубопроводу, м/с. Визначають за формулою (3.6), де за  $t_p$  приймають температуру газів чи парів на виході з відвідного трубопроводу; при скиданні до атмосфери приймають температуру навколишнього середовища;

$\lambda_{вх}$  – швидкісний коефіцієнт на вході газу чи пари до відвідного трубопроводу (на виході з клапана); визначають графічним шляхом (рис.1 додатка: по осі абсцис –  $L$ ; по осі ординат –  $\lambda_{вх}$  чи з виразу:

$$\lambda_{вх} = f(L; \lambda_{вх}), \quad (3.63)$$

$$L = \frac{2k}{k+1} \cdot \xi_{сист}, \quad (3.64)$$

де  $k$  – показник адиабати;

$\xi_{сист}$  – коефіцієнт опору системи, який визначають за формулою:

$$\xi_{сист} = \xi_c + \frac{\lambda}{d_{від}} \cdot \sum_{i=1}^n l_i, \quad (3.65)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -ї лінійної ділянки відвідного трубопроводу, м;

$n$  – число лінійних ділянок;

$d_{від}$  – внутрішній діаметр відвідного трубопроводу, м;

$\lambda$  – коефіцієнт опору тертя лінійних частин відвідного трубопроводу, дорівнює  $\lambda = 0,0132 \cdot d_{від}^{-0,25}$ ;

$\xi_c$  – сумарний коефіцієнт місцевих опорів на відвідному трубопроводі; визначають за формулою:

$$\xi_c = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \xi_i, \quad (3.66)$$

де  $N_i$  – кількість місцевих опорів одного виду;

$\xi_i$  – числове значення  $i$ -го коефіцієнта (табл.19 додатка);

$n$  – число видів опорів.

Площу перерізу відвідного трубопроводу визначають за формулою:

$$F_{від} = \pi \cdot d_{від}^2 / 4, \quad (3.67)$$

де  $d_{від}^2$  – внутрішній діаметр відвідного трубопроводу, м (діаметр відвідного трубопроводу повинен бути не менше діаметра відвідного патрубка запобіжного клапана).



Швидкісний коефіцієнт на виході з відповідного трубопроводу визначають за формулою:

$$\lambda_{\text{вих}} = \frac{G_{\text{max}}}{\rho_{\text{від.тр.}} \cdot F_{\text{від.тр.}} \cdot \omega_{\text{кр}}} . \quad (3.68)$$

Густину середовища на виході з відповідного трубопроводу (у закритій системі),  $\text{кг/м}^3$ , визначають за формулою:

$$\rho_{\text{від.тр.}} = 120,27 \frac{M \cdot P_{\text{вх}}}{t_p + 273} , \quad (3.69)$$

де  $P_{\text{вх}}$  – тиск на вході до відповідного трубопроводу, МПа;  
 $t_p$  – робоча температура середовища в трубопроводі, °С.

Падіння тиску у відповідному трубопроводі при цьому можна розрахувати за формулою:

$$\Delta P = P_{\text{вх}} + \Delta P . \quad (3.70)$$

Уточнене значення тиску на вході у відповідний трубопровід, з урахуванням значення падіння тиску за рахунок опору системи, визначають наступним чином:

$$P'_{\text{вх}} = P_{\text{вх}} + \Delta P . \quad (3.71)$$

Під час розрахунку запобіжного клапана порівнюють уточнене значення тиску на вході у відповідний трубопровід  $P'_{\text{вх}}$  з прийнятим значенням  $P_{\text{вх}}$ . Якщо  $P'_{\text{вх}}$  у значній мірі відрізняється від прийнятого  $P_{\text{вх}}$  ( $P'_{\text{вх}} > 1,05 P_{\text{вх}}$  або  $P'_{\text{вх}} < 0,95 P_{\text{вх}}$ ), тоді перепускні спроможності запобіжного клапана необхідно перерахувати, прийнявши  $P_{\text{вх}} = P'_{\text{вх}}$ .

Якщо розраховане значення перепускної спроможності запобіжного клапана не перевищує значення максимальної продуктивності апарата по парогазовому середовищу під час аварійної ситуації ( $G_k \geq G_{\text{max}}$ ), розрахунки закінчують.

Одним із найбільш поширених способів вибухозахисту технологічного обладнання є скидання тиску вибуху через запобіжні пристрої, до яких відносяться вибухові клапани або мембрани різної конструкції. Для досить надійного вибухозахисту апаратів мають бути обов'язково виконані дві умови: необхідно забезпечити спрацьовування запобіжних пристро-

їв за даним тиском та забезпечити їхню достатню перепускную спроможність. Тому вибір запобіжних пристроїв і розрахунок їхніх основних характеристик є досить відповідальним етапом проектування обладнання.

До найбільш надійних з усіх існуючих засобів вибухозахисту технологічного обладнання відносяться *запобіжні мембрани*, що характеризуються достатньою простотою конструкції та високою швидкістю.

Мембрани менше за інші пристрої підпадають під вплив кристалізації, полімеризації середовища, забезпечують повну герметичність обладнання (до спрацювання), не мають обмежень за перепускною спроможністю. Майже єдиним недоліком мембран є те, що після їхнього спрацювання обладнання залишається відкритим до заміни мембрани, що спрацювала, і це, як правило, призводить до зупинки технологічного процесу та викиду досить великої кількості шкідливих продуктів до атмосфери.

Залежно від характеру руйнування запобіжні мембрани поділяють на *розривні, ламкі, відривні, зрізні, виклацні та спеціальні пристрої*.

Основними розрахунковими параметрами запобіжних мембран є:

- тиск спрацювання мембрани;
- площа скидного отвору апарата;
- діаметр мембрани (скидного отвору);
- матеріал мембрани;
- товщина металопрокату (фольги);
- кількість мембран в апараті;
- строк служби мембрани.

Основною задачею розрахунку запобіжної мембрани є визначення будь-якого характерного для неї конструктивного розміру, частіше всього товщини, за умов отримання заданого тиску спрацювання.

Тиск спрацювання мембрани не повинен виходити за межі діапазону, обмеженого максимальним і мінімальним його значеннями. Максимальне значення цього діапазону є міцністю апарата, що захищається, і не повинно перевищувати розрахункового тиску апарата. Це означає, що запобіжна мембрана має бути найбільш слабким вузлом у конструкції обладнання та за некерованого підвищення тиску в ньому повинна зруйнуватися у першу чергу.

Мінімальне значення діапазону, в якому повинен знаходитися тиск спрацювання мембрани, визначається робочим тиском в апараті, що захищається, і має бути більшим за робочий тиск. Під робочим тиском у даному випадку необхідно розуміти максимальний тиск в апараті, що передбачений технологічним регламентом, тобто за нормального (не аварійного) режиму протікання технологічного процесу. Мембрана не повинна спрацювати за нормальних умов експлуатації обладнання, а тільки на випадок аварії.

Таким чином, тиск спрацьовування запобіжних мембран приймається у діапазоні, наприклад, 1,55–1,7 МПа або 12,5–13,2 МПа. Якщо апарат, що вимагає захисту, працює за атмосферного тиску, зокрема якщо він постійно сполучається з атмосферою, тоді нижню межу діапазону можна не вказувати, а визначити лише максимально допустиме значення тиску спрацьовування мембран: наприклад, не більше 0,03 МПа чи не більше 0,08 МПа [8].

Максимально допустимий тиск спрацьовування мембрани приймають за табл. 3.4:

Таблиця 3.4 – Максимально допустимий тиск спрацьовування мембрани

Робочий (надлишковий) тиск $P_p$ , МПа	Тиск спрацьовування $P$ , МПа
$P_p = P_{\text{бар}} (V_v < 30 \text{ м}^3)$	$P = 0,11$
$P_p = P_{\text{бар}} (V_v \geq 30 \text{ м}^3)$	$P = 0,105$
$P_{\text{бар}} < P_p < 0,17$	$P = P_p + 0,03$
$P_p \geq 0,17$	$P = 1,25 P_p$

де  $V_v$  – вільний об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$P_{\text{бар}} = 0,1$  МПа – атмосферний тиск.

Максимальні витрати газів через скидний отвір під час вибуху середовища в апараті визначають за формулою:

$$G = F_{\text{пол}} \cdot u_n \cdot \frac{\mu - 1}{k} \cdot \left( \frac{P}{P_p} \right)^{\frac{2-k}{k}}, \quad (3.72)$$

де  $G$  – максимальна витрата газу через скидний отвір,  $\text{кг/с}$ ;

$F_{\text{пол}}$  – максимальна площа поверхні фронту полум'я,  $\text{м}^2$ ;

$u_n$  – нормальна швидкість поширення полум'я,  $\text{м/с}$ , яку визначають за табл. 1 додатка;

$k$  – показник адіабати (визначають за табл. 6 додатка);

$\mu$  – ступінь підвищення тиску під час вибуху в апараті;

$P$  – максимально допустимий тиск в апараті, МПа;

$P_p$  – робочий тиск в апараті, МПа.

Максимальну площу поверхні фронту полум'я  $F_{\text{пол}}$  визначають:

- для апарата циліндричної форми:

$$F_{\text{пол}} = K_f \cdot \pi \cdot D^2 \text{ при } D \leq H,$$

$$F_{\text{пол}} = K_f \cdot \pi \cdot H^2 \text{ при } D > H,$$

де  $D$  – діаметр апарата,  $\text{м}$ ;

$H$  – висота апарата,  $\text{м}$ ;

- для апарата прямокутної форми:

$$F_{\text{пол}} = K_f \cdot \pi \cdot A \cdot B \text{ при } A \leq B \leq C,$$

де  $A, B, C$  – розміри сторін апарата, м;

$K_{\phi}$  - коефіцієнт скривлення фронту полум'я;

$K_{\phi} = 1,5-2$  – для апаратів із вільним від будь-яких пристроїв внутрішнім простором та зі спокійним станом середовища;

$K_{\phi}=2-2,5$  – для інших апаратів або за наявності у них лопатей, ребер та інших аналогічних пристроїв;

$K_{\phi}=5-10$  – для апаратів зі штучною інтенсивною турбулізацією середовища за допомогою вмонтованих вентиляторів або тангенційного уведення газу.

Ступінь підвищення тиску під час вибуху в закритому апараті визначають за формулою:

$$\mu = \frac{P_{\max}}{P_{\text{бар}}}, \quad (3.73)$$

де  $P_{\text{бар}} = 0,1$  МПа – атмосферний тиск.

Для визначення площі скидного отвору газів до атмосфери під час вибуху необхідно визначити режим витоку газів через скидний отвір після руйнування мембрани під час вибуху середовища в апараті. Для цього спочатку визначаємо відносний перепад тиску на скидному отворі за формулою:

$$v = \frac{P_0}{P}, \quad (3.74)$$

де  $P_0$  – максимальний (абсолютний) тиск у скидному трубопроводі, МПа.

При скиданні продуктів вибуху до атмосфери  $P_0=P_{\text{бар}}$ ; при скиданні продуктів вибуху до закритої системи враховують вплив опору скидного трубопроводу за методикою, викладеною в розділі 3;

$P$  – максимально допустимий тиск у апараті, МПа.

Площу скидних отворів  $F_k$  продуктів згоряння до атмосфери під час вибуху визначають за наступними формулами:

– для докритичного режиму витікання (при  $v > 0,528$ )

$$F_k \geq \frac{F_{\text{пол}} \cdot u_n \cdot (\mu - 1)}{\varphi \cdot k \cdot \left(\frac{P}{P_p}\right)^{\frac{3 \cdot (k-1)}{2 \cdot k}} \cdot \sqrt{\frac{2R \cdot (t_p + 273)}{M}} \cdot \left(v^{\frac{2}{k}} - v^{\frac{k+1}{k}}\right) \cdot \frac{k}{k-1}}; \quad (3.75)$$

– для критичного режиму витікання (при  $v \leq 0,528$ )

$$F_k \geq \frac{F_{\text{пол}} \cdot u_n \cdot (\mu - 1)}{\varphi \cdot k \cdot \left(\frac{P}{P_p}\right)^{\frac{3 \cdot (k-1)}{2 \cdot k}} \cdot \sqrt{\frac{2R \cdot (t_p + 273)}{M}} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, \quad (3.76)$$

де  $F_k$  – площа скидного отвору, м<sup>2</sup>;  
 $\varphi$  – 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, °С;  
 $M$  – молекулярна маса продуктів згоряння, кг/кмоль, яку визначають за формулою:

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

Діаметр скидних отворів визначають за формулою:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_k}{\pi \cdot n}}, \quad (3.77)$$

де  $n$  – число однотипних мембранних пристроїв на апараті.

Розрахований діаметр скидного отвору округляють до найбільшого значення умовного проходу  $d_y$  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 є необхідним встановлення на апараті двох і більше мембранних пристроїв.

Після вибору типу мембрани обирають матеріал і визначають його механічні властивості:

- межу стійкості  $\delta_v$ , МПа;
- відносне подовження  $\delta$ ;
- показник повзучості  $\lambda$ , 1/рік.

Матеріал мембрани та його механічні властивості визначають за робочою температурою (табл. 26 додатка).

Слід відзначити, що для більш точного визначення тиску спрацювання розривної мембрани (чи її товщини за заданим тиском спрацю-

ування) необхідно мати точні значення межі міцності та відносного подовження під час розриву матеріалу мембрани.

Стабільність спрацювання розривних мембран повністю визначається стабільністю механічних властивостей матеріалів, з яких їх виготовлено. Встановлено, що чим більш пластичним є матеріал, тим більш стабільним є тиск спрацювання виготовлених з нього мембран. Тому для виготовлення розривних мембран рекомендується металопрокат у м'якому відпаленому стані.

Товщину прокату для розривної мембрани ( $\Delta_0$ ) можна розрахувати за формулою:

$$\Delta_0 = \frac{P \cdot d_y}{8 \cdot \delta_b \cdot K_t} \cdot \sqrt{\frac{1 + \delta}{\sqrt{1 + \delta} - 1}}, \quad (3.78)$$

де  $P$  – тиск спрацювання мембрани, МПа;

$d_y$  – діаметр мембрани, м;

$K_t$  – температурний коефіцієнт, який залежить від температури середовища, де встановлено мембрану (табл. 21 додатка);

$\delta_b$  – межа міцності матеріалу, з якого виготовлено мембрану, МПа (табл. 25 додатка);

$\delta$  – відносне подовження матеріалу в момент розриву (табл. 26 додатка).

Товщину прокату, з якого виготовляють хлопаючі мембрани, визначають за формулами:

- якщо матеріал мембрани аж до моменту спрацювання мембрани працює в області пружних деформацій, тобто  $P \leq K_2^2 \cdot E / K_1$  :

$$\Delta_0 = 0,85 \cdot d_y \cdot \sqrt{P_c / K_1 \cdot E}; \quad (3.79)$$

- або коли на деяких ділянках мембрани спостерігаються пластичні деформації матеріалу і  $P \geq K_2^2 \cdot E / K_1$  :

$$\Delta_0 = 0,85 \cdot d_y \cdot (P_c / K_2 \cdot E), \quad (3.80)$$

де  $d_y$  – діаметр мембрани, м;

$P$  – тиск спрацювання мембрани, МПа;

$E$  – модуль пружності матеріалу, МПа, (табл. 20 додатка);

$K_1$ ,  $K_2$  – дослідні коефіцієнти для хлопаючих мембран залежать від матеріалів. Значення дослідних констант представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення дослідних констант для хлопаючих мембран для різних матеріалів

Матеріал	Тип ущільнення	$K_1$	$K_2$	$E$ , МПа	Максимальна робоча температура, °С
Алюміній	Плоский	0,30	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^5$	100
	Конічний	0,40	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$0,7 \cdot 10^5$	100
Нікель	Плоский	0,40	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^5$	300
	Конічний	0,48	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^5$	300
Нержавіюча сталь	Плоский	0,30	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^5$	450
	Конічний	0,40	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^5$	450

Якщо розривна мембрана досить тривалий час знаходиться під постійним навантаженням, зовсім близьким до межі її міцності, може статися її руйнування, тобто станеться хибне спрацьовування мембрани (спрацьовування за відсутності аварійного перевищення тиску). Передчасне спрацьовування мембран призводить до втрати сировини, продуктів, забруднення навколишнього середовища, зупинки виробництва. Тому необхідно знати, через який проміжок часу повинна здійснюватися профілактична заміна мембрани, щоб попередити її хибне спрацьовування [8].

До основних факторів, що впливають на строк служби мембран, відносяться:

- корозійна стійкість матеріалу в середовищі апарата, що потребує захисту;
- температура;
- ступінь навантаження (співвідношення між робочим тиском і тиском спрацьовування мембрани);
- характер навантаження (статичний, знакоперемінний, пульсуючий).

Строк служби мембран у промислових умовах необхідно визначати з урахуванням усіх наведених факторів. Слід відмітити, що окремі фактори досить тісно між собою взаємопов'язані. Зокрема ступінь навантаження не тільки визначає повзучість матеріалу, але і прискорює його корозію; це відноситься також і до температури.

Основна задача під час дослідження явища повзучості полягає у встановленні функціональної залежності між основними величинами, що характеризують і визначають цей процес: напруженням, температурою, часом та деформацією чи її швидкістю.

На практиці для орієнтовних розрахунків строку служби запобіжних мембран використовують формули, які не враховують всіх факторів.

Для визначення строку служби ( $\tau$ , рік) розривної мембрани використовується напівемпірична формула, яка побічно враховує вплив температури:

$$\tau = \frac{(1 - \eta_0)^2}{2\left(\frac{c}{\Delta_0} + \lambda\right)} \left[ 1 - 0,85 \frac{t - 20}{t_m - 20} \right], \quad (3.81)$$

де  $\eta_0$  – початкове значення ступеня навантажування мембрани. Визначають із відношення  $P_p/P$  ;

$c$  – швидкість корозії, мм/год;

$\Delta_0$  – товщина прокату мембрани, мм;

$\lambda$  – коефіцієнт повзучості матеріалу, 1/год (табл. 25 додатка);

$t$  – температура у місці встановлення мембрани, °С;

$t_m$  – гранично допустима температура для мембран із певного матеріалу, °С (табл. 26 додатка);

$P_p$  – робочий тиск, МПа;

$P$  – тиск спрацьовування мембрани, МПа.

Строк служби хлопаючої мембрани можна визначити за формулою:

$$\tau = \frac{\Delta_0}{c} \cdot (1 - \sqrt{\eta_0}). \quad (3.82)$$

### 3.2 Методика розв'язання основних типів задач

**Задача 3.2.1.** Визначити кількість горючої рідини, що виходить назовні під час локального пошкодження апарата (пошкодження ліквідовано за 25 хвилин). ЛЗР – ацетон, робочий тиск  $P_p = 0,3$  МПа, коефіцієнт витрати  $\alpha = 0,6$ ; діаметр отвору  $d_{\text{отв}} = 1,5$  мм, висота стовпа рідини в апараті  $H = 1$  м.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо кількість ацетону, що виходить через отвір апарата, за формулою (3.1), в якій спочатку розраховуємо площу перерізу отвору –  $f$ :

$$f = \frac{\pi \cdot d_{\text{отв}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0015^2}{4} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

2. Швидкість витікання ацетону через отвір апарата обчислюємо за формулою (3.2):

$$\omega = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 26,4} = 22,76 \text{ м/с},$$

де  $P_{\text{р.н.}} = P_p - 1 \cdot 10^5 = 3 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^5 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,



$$H_{\text{прив}} = \frac{2 \cdot 10^5}{801,9 \cdot 9,81} + 1 = 26,4 \text{ м.}$$

3. Підставляємо знайдені величини у формулу (3.1):

$$m_{\text{л}} = 0,6 \cdot 1,75 \cdot 10^{-6} \cdot 22,76 \cdot 801,9 \cdot 1500 = 28,7 \text{ кг.}$$

Таким чином, при пошкодженні апарата через отвір діаметром 1,5 мм за 25 хвилин витече до виробничого приміщення 28,7 кг легкозаймистої рідини.

**Задача 3.2.2.** Визначити приріст тиску в новому сталевому трубопроводі, по якому транспортується бензол. У процесі експлуатації обладнання сталося рівномірне зменшення перерізу трубопроводу по всій його довжині за рахунок утворення відкладень. Температура бензолу  $t_p = 20^\circ \text{C}$ , довжина трубопроводу  $l = 50 \text{ м}$ , початкова швидкість руху продукту  $\omega_1 = 2 \text{ м/с}$ ; діаметр чистого (без відкладень) трубопроводу  $d_1 = 0,025 \text{ м}$ ; ступінь зменшення діаметра трубопроводу при утворенні відкладень  $\varepsilon = 0,6$ .

**Розв'язання:**

1. Визначаємо вільний діаметр трубопроводу на ділянці з відкладеннями:

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

2. Враховуючи рівняння нерозривності потоку, визначаємо швидкість руху продукту у звуженому за рахунок відкладень трубопроводі:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 \cdot f_1}{f_2} = \frac{\omega_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}}{\frac{\pi \cdot d_2^2}{4}} = \frac{\omega_1 \cdot d_1^2}{d_2^2} = \frac{2 \cdot 0,025^2}{0,01^2} = 12,5 \text{ м/с.}$$

За табл. 4 та 12 додатка знаходимо густину бензолу при  $20^\circ \text{C}$ ;  $\rho_t = 879 \text{ кг/м}^3$ ; в'язкість бензолу  $\mu = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

3. Визначаємо режим руху продукту (числа Рейнольдса) на ділянках трубопроводів діаметром  $d_1$  та  $d_2$ :

$$\text{Re}_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_1 \cdot \rho_t}{\mu} = \frac{2 \cdot 0,025 \cdot 879}{0,7 \cdot 10^{-3}} = 6,3 \cdot 10^4;$$

$$\text{Re}_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_2 \cdot \rho_t}{\mu} = \frac{12,5 \cdot 0,01 \cdot 879}{0,7 \cdot 10^{-3}} = 1,6 \cdot 10^5.$$

4. За формулою (3.28) розраховуємо коефіцієнт опору тертя  $\lambda_1$  для ділянки трубопроводу діаметром  $d_1$ :

$$\lambda_1 = 0,11 \left( \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{0,025} + \frac{68}{6,3 \cdot 10^4} \right)^{0,25} = 0,029.$$

Аналогічно визначаємо коефіцієнт опору тертя  $\lambda_2$  на ділянці трубопроводу діаметром  $d_2$ :

$$\lambda_2 = 0,11 \left( \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{0,01} + \frac{68}{1,6 \cdot 10^5} \right)^{0,25} = 0,035.$$

Величина  $\Delta$  для нових сталевих труб приймається  $0,1 \cdot 10^{-3}$  м.

5. Визначаємо втрати напору (по довжині трубопроводу) за формулою (3.24):

а) без відкладень:

$$\Delta P_1 = \frac{\lambda_1 \cdot l \cdot \omega_1^2 \cdot \rho_t}{2d_1} = \frac{0,029 \cdot 50 \cdot 2^2 \cdot 879}{2 \cdot 0,025} = 101964 \text{ Па} = 0,102 \text{ МПа};$$

б) з відкладеннями:

$$\Delta P_2 = \frac{\lambda_2 \cdot l \cdot \omega_2^2 \cdot \rho_t}{2d_2} = \frac{0,035 \cdot 50 \cdot 12,5^2 \cdot 879}{2 \cdot 0,01} = 12017578 \text{ Па} = 12 \text{ МПа}.$$

6. Приріст тиску на подолання напруження становить:

$$\Delta P = \Delta P_2 - \Delta P_1 = 12 - 0,102 = 11,9 \text{ МПа}.$$

Отже, внаслідок зменшення площі перерізу трубопроводу (за рахунок утворення відкладень), по якому транспортується горюча рідина, у системі підвищується тиск на 11,9 МПа, що створює аварійну ситуацію.

**Задача 3.2.3.** Знайти кінцевий тиск у верхній частині ректифікаційної колони, якщо протягом деякого часу буде припинено постачання води на холодильник, де відбувається конденсація парів ректифікату.

Колона призначена для поділу суміші «етиловий спирт–вода». Ступінь неповноти конденсації  $\alpha = 5\%$ , вільний об'єм колони  $V = 50 \text{ м}^3$ , температура низу колони  $T_p = 395 \text{ К}$ , верху  $T_p = 360 \text{ К}$ . Тиск в колоні  $P_p = 0,16 \text{ МПа}$ , продуктивність колони за паром  $G_n = 6 \text{ кг/с}$ , тривалість порушення нормального режиму конденсації  $\tau = 50 \text{ хвилин}$ .

**Розв'язання:**

1. Приріст тиску в колоні визначаємо за формулою (3.36):

$$\Delta P = \frac{\alpha \cdot G_n \cdot \tau}{100 \cdot V_b \cdot \rho_t} \cdot P_0.$$

Для цього спочатку розраховуємо густину парів етилового спирту за умов ведення процесу конденсації, яку визначаємо за формулами (1.11), (2.4):

$$\rho_t = \frac{M \cdot T_0 \cdot P_p}{V_0 \cdot T_p \cdot P_0} = \frac{46,07 \cdot 273 \cdot 0,16}{22,41 \cdot 360 \cdot 0,1} = 2,49 \text{ кг/м}^3,$$

де  $M = 46,07$  – молекулярна маса етанолу, кг/кмоль;

$V_0 = 22,41$  – молекулярний об'єм парів за нормальних умов,  $\text{м}^3/\text{кмоль}$ ;

$T_0 = 273 \text{ К}$ ,  $P_0 = 0,1 \text{ МПа}$  – температура й тиск за нормальних умов;

$T_p = 360 \text{ К}$ ,  $P_p = 0,16 \text{ МПа}$  – робоча температура та робочий тиск в апараті.

Тоді

$$\Delta P = \frac{5 \cdot 6 \cdot 3000}{100 \cdot 50 \cdot 2,49} \cdot 0,1 = 0,72 \text{ МПа}.$$

2. Кінцевий тиск у верхній частині колони дорівнює:

$$P_k = P_p + \Delta P = 0,16 + 0,72 = 0,88 \text{ МПа}.$$

Таким чином, у результаті припинення постачання води на холодильник, де відбувається процес конденсації парів етилового спирту, у верхній частині ректифікаційної колони підвищується тиск до  $0,88 \text{ МПа}$ , що може призвести до пошкодження апарата.

**Задача 3.2.4.** Оцінити можливість пошкодження магістрального нафтопроводу під час швидкого перекидання засувки. Робочий тиск

нафти у трубопроводі  $P_p=4,5$  МПа, густина нафти  $\rho = 830$  кг/м<sup>3</sup>, матеріал трубопроводу – сталь 17Г1С, модуль пружності  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Па, для нафти  $\beta_{ст} = 0,74 \cdot 10^{-9}$  Па<sup>-1</sup>. Продуктивність магістрального нафтопроводу  $Q = 10000$  м<sup>3</sup>/год, зовнішній діаметр труби  $D_3 = 0,82$  м, товщина стінки  $S=10$  мм. Пробний тиск при гідравлічному випробуванні трубопроводу  $P_{доп}=5,6$  МПа.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо площу прохідного перерізу трубопроводу:

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

2. Визначаємо швидкість руху нафти з рівняння витрати:

$$\omega = \frac{Q}{F} = \frac{10000}{0,505} = 19880,7 \text{ м/год} \text{ або } 5,52 \text{ м/с.}$$

3. Розраховуємо швидкість поширення ударної хвилі за швидкого перекивання засувки за формулою (3.38):

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

де  $D_B = D_3 - 2 \cdot S = 0,82 - 2 \cdot 0,01 = 0,8$  м.

4. Максимальне зменшення швидкості нафти у трубопроводі за формулою (3.39) становить:

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

5. Визначаємо приріст тиску у трубопроводі при гідравлічному ударі за формулою (3.37):

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

6. Обчислюємо кінцевий тиск нафти у трубопроводі за формулою (3.29):

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

Таким чином, тиск, який виникає у трубопроводі в результаті гідроудару, значно перевищує допустимий тиск ( $P_k=9,25$  МПа)  $>$  ( $P_{\text{доп}}=5,6$  МПа), що може призвести до руйнування трубопроводу.

**Задача 3.2.5.** Визначити площу перерізу запобіжного клапана, встановленого на ректифікаційній колоні. Через клапан скидаються пари бензолу. Робочий тиск у колоні  $P_p = 0,13$  МПа, робоча температура  $t_p = 90$  °С, продуктивність колони за паром  $G = 300$  кг/год. Скидання здійснюється на факел через сепаратор, в якому тиск дорівнює  $0,115$  МПа. Коефіцієнт витрати  $\alpha$  становить  $0,8$ .

**Розв'язання:**

1. Визначаємо робочий надлишковий тиск ( $P_{p.н.}$ ), надлишковий тиск спрацьовування запобіжного клапана ( $P_{сп.н.}$ ), надлишковий тиск середовища, до якого відбувається скидання парів бензолу ( $P_{с.н.}$ ) й тиск спрацьовування запобіжного клапана ( $P_{сп}$ ) за формулами (3.59), (3.60) і таблицями 3.1 та 3.3 відповідно:

$$P_{p.н.} = P_p - 0,1 = 0,13 - 0,1 = 0,03 \text{ МПа};$$

$$P_{сп.н.} = P_{p.н.} + 0,05 \text{ МПа} = 0,03 + 0,05 = 0,08 \text{ МПа};$$

$$P_{с.н.} = P_c - 0,1 = 0,115 - 0,1 = 0,015 \text{ МПа};$$

$$P_{сп} = P_{сп.н.} + 0,1 \text{ МПа} = 0,08 + 0,1 = 0,18 \text{ МПа}.$$

2. Розраховуємо густину парів бензолу в апараті при спрацьовуванні запобіжного клапана за формулою (3.58):

$$\rho_t = 120,27 \frac{M \cdot P_{сп}}{t_p + 273} = 120,27 \cdot \frac{78,11 \cdot 0,18}{363} = 4,65 \text{ кг/м}^3.$$

3. Визначаємо площу перерізу запобіжного клапана за формулою (3.59):

$$F = \frac{7,142 \cdot 10^{-4} \cdot G_{\text{max}}}{\alpha \cdot V \cdot \sqrt{(P_{сп.н.} - P_{с.н.}) \rho_t}} = \frac{7,142 \cdot 10^{-4} \cdot 300 / 3600}{0,8 \cdot 1 \cdot \sqrt{(0,08 - 0,015) \cdot 4,65}} = 1,36 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

4. Обчислюємо фактичну площу прохідного перерізу запобіжного клапана  $F_k$  за формулою:

$$F_k = 0,785d_c^2 = 0,785 \cdot 0,012^2 = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де  $d_c = 0,012 \text{ м}$  – діаметр сопла (табл. 3.2).

Таким чином, площа перерізу запобіжного клапана, встановленого для захисту ректифікаційної колони від руйнування під час різкого підвищення тиску парів бензолу, становить  $0,00011 \text{ м}^2$ .

**Задача 3.2.6.** Після реконструкції технологічної установки виробництва гексану змінилися деякі робочі параметри експлуатації випарника гексану. Визначити перепускну спроможність запобіжного клапана, встановленого на випарнику гексану, через який здійснюється скидання парів на факел із тиском середовища на виході з відповідного трубопроводу  $0,115 \text{ МПа}$ . Робочий тиск в апараті становить  $0,45 \text{ МПа}$ , робоча температура –  $165 \text{ }^\circ\text{C}$ , продуктивність випарника за парою становить  $1000 \text{ кг/год}$ , площа прохідного перерізу запобіжного клапана –  $0,00126 \text{ м}^2$ , діаметр відповідного трубопроводу –  $100 \text{ мм}$ , коефіцієнт опору трубопроводу  $\xi_{\text{сист}}=15$ , коефіцієнт витрати середовища через клапан  $\alpha=0,2$ . Показник адіабати дорівнює  $1,1$ .

**Розв'язання:**

Основним розрахунковим параметром для вибору чи перевірки перепускну спроможності запобіжного клапана є тиск спрацьовування запобіжного клапана. Враховуючи те, що скидання парів гексану через запобіжний клапан по трубопроводу відбувається на факел, для визначення перепускну спроможності клапана необхідно врахувати падіння тиску у відповідному трубопроводі за рахунок гідравлічного опору. Для вибору запобіжного клапана спочатку проводять розрахунки за максимальної продуктивності ( $G_{\text{max}}$ ) апарата за парою та робочих параметрів випарника гексану, а потім з урахуванням гідравлічного опору відповідного трубопроводу та параметрів парової суміші, що скидається на факел.

1. Визначаємо надлишковий тиск спрацьовування запобіжного клапана ( $P_{\text{сп.н}}$ ), виходячи з робочого тиску та надлишкового робочого тиску у випарнику, за табл. 3.1:

$$P_{\text{сп.н.}} = 1,15 \times P_{\text{р.н.}} = 1,15 \times 0,35 = 0,4 \text{ МПа},$$

де  $P_{\text{р.н.}}$  – робочий надлишковий тиск в апараті, який визначають за формулою (3.59):

$$P_{\text{р.н.}} = P_p - 0,1 = 0,45 - 0,1 = 0,35 \text{ МПа},$$

де  $P_p$  – робочий тиск в апараті, МПа.

Тоді абсолютний тиск спрацьовування запобіжного клапана становить:

$$P_{\text{сп.}} = P_{\text{сп.н.}} + 0,1 = 0,4 + 0,1 = 0,5 \text{ МПа.}$$

2. Визначаємо густину парів гексану у випарнику за робочого тиску і робочої температури за формулою (3.58):

$$\rho_t = 120,27 \frac{M \cdot P_{\text{сп.}}}{t_p + 273} = 120,27 \cdot \frac{86,18 \cdot 0,5}{165 + 273} = 11,83 \text{ кг/м}^3,$$

де  $M$  – молекулярна маса гексану, кг/кмоль.

3. Проводимо розрахунки з урахуванням тиску на вході у відповідний трубопровід (на виході з відповідного патрубку запобіжного клапана). Приймаємо, що тиск у відвідному трубопроводі дорівнює тиску середовища, куди скидається парова суміш:

$$P_{\text{вих.}} = P_{\text{вх.}} = P_c = 0,115 \text{ МПа,}$$

де  $P_c$  = тиск середовища, куди скидається парова суміш, МПа.

Звідси надлишковий тиск середовища у відвідному трубопроводі становить:

$$P_{\text{вих.н.}} = P_{\text{вх.н.}} = P_{\text{с.н.}} = 0,115 - 0,1 = 0,015 \text{ МПа.}$$

4. Визначаємо відношення:

$$P_{\text{вих.н.}}/P_{\text{сп.н.}} = 0,015/0,4 = 0,0375.$$

5. Розраховуємо коефіцієнт  $V$  за вихідними даними показника адіабати середовища ( $k=1,1$ ), що виходить з апарата через запобіжний клапан (табл. 3.2):

$$V = f(0,0375; 1,1) = 0,459.$$

6. Визначаємо перепускну спроможність запобіжного клапана за формулою (3.56):

$$G_k = 1,41 \cdot \alpha \cdot F \cdot V \cdot \sqrt{(P_{\text{сп.н.}} - P_{\text{с.н.}}) \cdot \rho_t} = 1,41 \cdot 0,2 \cdot 0,00126 \cdot 0,459 \cdot \sqrt{(0,4 - 0,015) \cdot 11,83} = 3,48 \text{ кг/с} = 12528 \text{ кг/год}$$

що значно перевищує максимальну продуктивність випарника за парою ( $G_{\max}=1000$  кг/год.).

7. Визначаємо густину парів гексану на виході з відповідного трубопроводу до факельної системи за робочим тиском і робочої температури за формулою (3.69):

$$\rho_{\text{від.тр.}} = 120,27 \frac{M \cdot P_{\text{вих}}}{t_p + 273} = 120,27 \cdot \frac{86,18 \cdot 0,115}{165 + 273} = 2,72 \text{ кг/м}^3.$$

8. Обчислюємо площу перерізу відповідного трубопроводу за формулою (3.67):

$$F_{\text{від}} = \pi \cdot d_{\text{від}}^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,1^2 / 4 = 0,00785 \text{ м}^2.$$

9. Виконуємо розрахунки для визначення швидкості витікання парів гексану з відповідного трубопроводу:

- визначення швидкісного коефіцієнта на вході пари до відповідного трубопроводу (на виході з клапана) проводимо з виразу (3.63):

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

де 
$$L = \frac{2k}{k+1} \cdot \xi_{\text{сист}} = \frac{2 \cdot 1,1}{1,1+1} \cdot 15 = 15,7;$$

- визначення швидкісного коефіцієнта на виході з відповідного трубопроводу виконуємо за формулою (3.68):

$$\lambda_{\text{вих}} = \frac{G_{\max}}{\rho_{\text{від.тр.}} \cdot F_{\text{від.тр.}} \cdot \omega_{\text{кр}}} = \frac{1000/3600}{2,72 \cdot 0,00785 \cdot 210,34} = 0,062,$$

де критичну швидкість витоку парів гексану з відповідного трубопроводу ( $\omega_{\text{кр}}$ ) визначаємо за формулою (3.6):

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{R}{M} \cdot (t_p + 273)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,1}{1,1+1} \cdot \frac{8314,31}{86,18} (165 + 273)} = 210,34 \text{ м/с.}$$

Тоді  $\lambda_{\text{вх}} = f(15,7; 0,062).$



- розраховуємо значення швидкісного коефіцієнта на вході парів гексану до відповідного трубопроводу (на виході з клапана) за графіком (рис.1 додатка (по осі абсцис –  $L$ ; по осі ординат –  $\lambda_{\text{вих}}$ ):

$$\lambda_{\text{вих}} = 0,06;$$

- обчислюємо швидкість витоку парів гексану з відповідного трубопроводу (на виході із запобіжного клапана) за формулою:

$$\omega_{\text{вих}} = \lambda_{\text{вих}} \cdot \omega_{\text{кр}} = 0,06 \cdot 210,34 = 12,62 \text{ м/с.}$$

10. Визначаємо кінцевий тиск у відповідному трубопроводі за формулою (3.61):

$$P_{\text{к}} = \frac{G_{\text{max}} \cdot P_{\text{вих}}}{\rho_{\text{від.тр.}} \cdot F_{\text{від.тр.}} \cdot \omega_{\text{вих}}} = \frac{1000/3600 \cdot 0,115}{2,72 \cdot 0,00785 \cdot 12,62} = 0,12 \text{ МПа.}$$

11. Падіння тиску у відповідному трубопроводі розраховуємо за формулою (3.70):

$$\Delta P = P_{\text{к}} - P_{\text{вих}} = 0,12 - 0,115 = 0,005 \text{ МПа.}$$

12. Уточнене значення тиску на вході у відповідний трубопровід, з урахуванням значення падіння тиску за рахунок опору системи, визначаємо за формулою (3.71):

$$P'_{\text{вих}} = P_{\text{вих}} + \Delta P = 0,115 + 0,005 = 0,12 \text{ МПа.}$$

13. Порівнюємо уточнене значення тиску на вході у відповідний трубопровід із прийнятим. Оскільки  $0,95P_{\text{вих}} \leq P'_{\text{вих}} \leq 1,05P_{\text{вих}}$ , величину  $P_{\text{вих}}$  вважаємо дійсною.

Таким чином, знайдене значення кінцевого тиску у відповідному трубопроводі практично не відрізняється від прийнятого за умовою задачі, а розрахована перепускна спроможність запобіжного клапана значно перевищує максимальну продуктивність апарата за парою, на підставі чого можна зробити висновок про те, що встановлений на випарнику гексану запобіжний клапан забезпечить надійний захист апарата.

**Задача 3.2.7.** Розрахувати товщину алюмінієвого прокату для виготовлення хлопаючої мембрани з конічним затиском діаметром 80 мм на тиск спрацьовування 0,5 МПа.

### ***Розв'язання***

1. Спочатку визначаємо види та область деформацій матеріалу мембрани. Для цього порівнюємо модуль пружності матеріалу мембрани, з урахуванням дослідних коефіцієнтів, із тиском спрацьовування мембрани.

За табл. 3.5 визначаємо коефіцієнти  $K_1$ ,  $K_2$  та модуль пружності  $E$  алюмінієвого прокату мембрани з конічним затиском:

$$K_1 = 0,4; K_2 = 1,6 \cdot 10^{-3}; E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Обираємо область деформацій матеріалу, з якого виготовлено хлопаючу мембрану, за умовами (3.79) та (3.80):

$$\frac{K_2^2 \cdot E}{K_1} = (1,6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{0,7 \cdot 10^5}{0,4} = 0,448 \text{ МПа.}$$

Порівнюємо отримане значення тиску з тиском спрацьовування мембрани ( $P_c$ ):

$$0,448 \text{ МПа} < P_c (0,5 \text{ МПа}).$$

2. Оскільки  $P_c > 0,448 \text{ МПа}$ , для розрахунку товщини алюмінієвої мембрани обираємо формулу (3.80):

$$\Delta_0 = 0,85d_y \left( \frac{P_c}{K_2^2 \cdot E} \right) = 0,85 \cdot 80 \left( \frac{0,5}{1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 10^5} \right) = 0,303 \text{ мм.}$$

Таким чином, товщина алюмінієвого прокату для виготовлення мембрани становить 0,3 мм.

**Задача 3.2.8.** Визначити термін дії розривної запобіжної мембрани з нікелю НП-2 товщиною 0,15 мм виробництва «Аерозоль-2», яка працює за наступних умов: робочий тиск – 1,6 МПа, тиск спрацьовування – 1,8 МПа, температура – 25 °С, середовище – хладон 12. Швидкість корозії нікелю у хладоні – 0,003 мм/рік.

### ***Розв'язання***

1. Визначаємо ступінь навантажування мембрани за формулою:

$$\eta_0 = \frac{P_p}{P_c} = \frac{1,6}{1,8} = 0,89.$$

2. За табл. 26 додатка визначаємо показник повзучості та гранично допустиму температуру для мембран із нікелю:

$$\lambda = 0,007; t_m = 400 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3. Розраховуємо строк служби розривної запобіжної мембрани з нікелю НП-2 товщиною 0,15 мм виробництва «Аерозоль-2» за формулою (3.81):

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{(1-\eta_0)^2}{2\left(\frac{c}{\Delta_0} + \lambda\right)} \left[ 1 - 0,85 \frac{t-20}{t_m-20} \right] = \\ &= \frac{(1-0,89)^2}{2\left(\frac{0,03}{0,15} + 0,007\right)} \left[ 1 - 0,85 \frac{25-20}{400-20} \right] \approx 0,22 \text{ року} \end{aligned}$$

Таким чином, строк дії розривної запобіжної мембрани з нікелю становить 0,22 року.

### Контрольні завдання

**Завдання 3.3.1.** Визначити об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій, що може утворитися внаслідок повного випаровування горючої рідини, яка виходить назовні під час локального пошкодження днища апарата (аварію ліквідовано через 10 хв.). Вентиляція у приміщенні відсутня. Вільний об'єм приміщення – 850 м<sup>3</sup>, а площа підлоги приміщення – 120 м<sup>2</sup>. Діаметр отвору у днищі апарата  $d_{\text{отв}}$ , вид ЛЗР, робочий тиск в апараті  $P_p$ , температура рідини і повітря у приміщенні  $t_p$ , а також висота стовпа рідини  $H$  наведені у табл. 3.6. Коефіцієнт витрати дорівнює 0,4.

Таблиця 3.6 – Показники для виконання завдання 3.3.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рідина	Ацетон	Толуол	Етанол	Бензол	Метанол	Ацетон	Етанол	Метанол	Бензол	Толуол
$d_{\text{отв}}$ , мм	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	4,5	4	3,5
$P_p$ , МПа	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
$t_p$ , °C	20	18	26	20	22	18	20	28	26	22
$H$ , м	5	4	3	2	1	2	3	4	5	3

**Завдання 3.3.2.** Визначити об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій і за необхідності – тривалість утворення ВНК у всьому об'ємі виробничого приміщення під час локального пошкодження апарата з горючим газом (пошкодження ліквідовано через 15 хв.). Приміщення обладнане аварійною вентиляцією кратністю  $A \text{ год}^{-1}$ . Вид горючого газу, діаметр отвору у стінці апарата  $d_{\text{отв}}$ , робочий тиск в апараті  $P_p$ , геометричний об'єм приміщення  $V_{\text{п}}$  наведені у табл. 3.7. Коефіцієнт витрати дорівнює 0,65, а температура газу в апараті –  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблиця 3.7 – Показники для виконання завдання 3.3.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Газ	Етан	Етилен	Метан	Сірководень	Водень	Аміак	Етан	Етилен	Метан	Водень
$d_{\text{отв}}$ , мм	15	20	25	30	10	15	20	25	30	15
$P_p$ , МПа	0,8	0,9	1,0	0,5	1,2	1,1	1,0	0,8	0,4	0,9
$V_{\text{п}}$ , $\text{м}^3$	600	900	1200	2000	1500	1200	1600	2000	2400	800
$A$ , 1/год	4	5	6	7	8	9	10	7	8	10

**Завдання 3.3.3.** До всмоктуючого колектора газового компресора, що працює під розрідженням, підсмоктується повітря через тріщину, що утворилася у зварному з'єднанні. Компресор стискає чистий горючий газ. Визначити концентрацію повітря у колекторі після його пошкодження і зробити висновок про пожежовибухонебезпеку газоповітряної суміші, що утворюється, якщо температура газу в колекторі  $t_p = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , а температура навколишнього повітря  $t_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вид горючого газу в колекторі, площа отвору  $f_{\text{отв}}$ , витрати газу  $q$  та розрідження у колекторі  $P_{\text{п}}$  наведені у табл. 3.8. Коефіцієнт витрати слід прийняти рівним 0,27.

Таблиця 3.8 – Показники для виконання завдання 3.3.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Газ	Ацетилен	Водень	Оксид вуглецю (CO)	Етан	Ацетилен	Метан	Оксид вуглецю (CO)	Водень	Етан	Метан
$f_{\text{отв}}$ , $\text{мм}^2$	8	10	12	14	16	18	20	21	22	23
$q$ , $\text{м}^3/\text{год}$	0,5	2,6	10,7	8,8	6,9	12,0	4,1	7,2	8,3	1,4
$P_{\text{п}}$ $10^{-3}$ , Па	20	10	4	0,6	15	0,1	8	0,2	12	20

**Завдання 3.3.4.** Запропонувати обгрунтовані розрахунками заходи протипожежного захисту, спрямовані на зменшення площі розливу рідини по підлозі виробничого приміщення внаслідок повного руйнування апарата. У момент аварії проводилось закачування рідини до апарата відцентровим насосом по трубопроводу діаметром 0,07 м. Відключення насоса та засувок на трубопроводі здійснюється вручну. Геометричний об'єм апарата, ступінь його заповнення (на час аварії) пожежонебезпечною рідиною, а також інші дані для розрахунку наведені у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Показники для виконання завдання 3.3.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рідина	Ацетон	Толуол	Етанол	Метанол	Бензол	Ацетон	Толуол	Етанол	Метанол	Бензол
Об'єм апарата, м <sup>3</sup>	0,5	0,8	1,0	1,5	1,8	2,0	2,3	2,9	3,0	3,5
Ступінь заповнення, ε	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,9	0,9	0,8	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 та повітря, °С	18	20	25	17	22	23	21	26	19	24
Площа підлоги, м <sup>2</sup>	140	120	100	80	150	130	110	160	170	180

**Завдання 3.3.5.** За умов вибухобезпеки визначити гранично допустиму кількість етилену, що надходить до приміщення компресорної станції під час аварії нагнітального трубопроводу, а також тривалість утворення вибухонебезпечної суміші у всьому об'ємі приміщення компресорної станції. Розглянути такі ситуації: 1) на момент аварії була увімкнута аварійна вентиляція кратністю  $A \text{ год}^{-1}$ ; 2) аварійна вентиляція не працювала. Температура етилену у трубопроводі  $t_p=15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тиск етилену в трубопроводі  $P_p$ , діаметр трубопроводу  $d_{tr}$  та вільний об'єм приміщення  $V_v$  наведені у табл. 3.10. Коефіцієнт витрати дорівнює 0,65.

Таблиця 3.10 – Показники для виконання завдання 3.3.5

№ 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
$d_{tr}$ , мм	50	70	80	90	60	55	75	85	65	45
$V_v \times 10^{-3}$ , м <sup>3</sup>	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	4	4,5
$A$ , 1/год	10	12	8	9	11	15	13	12	14	10

**Завдання 3.3.6.** У приміщенні комбікормового цеху розмірами 48x24x12 м вилучення борошняного пилу з головок елеваторів здійснюється системою пневмотранспорту до збірника-сепаратора пилу. Коефіцієнт вільного об'єму приміщення дорівнює 0,7.

Зробити висновок про можливість утворення вибухонебезпечної пилоповітряної суміші у всьому об'ємі приміщення цеху під час аварії на виробництві. Частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу дорівнює 0,8, а дисперсність горючого пилу не перевищує 350 мкм. На момент аварії у сепараторі знаходилось  $m_{ап}$  (кг) борошняного пилу (табл. 3.11). Система пневмотранспорту вимикається вручну. Продуктивність системи пневмотранспорту  $q$ , коефіцієнт ефективності пилоприбирання  $K_{пр}$  наведені у табл. 3.11. Нижня концентраційна межа поширення полум'я борошняного пилу становить  $37 \text{ г/м}^3$ . Насипна густина пилу –  $350 \text{ кг/м}^3$ . За період між прибираннями товщина шару пилу на доступних для прибирання поверхнях площею  $1000 \text{ м}^2$  становить  $\delta_{д}$  мм, а на не доступних для прибирання поверхнях площею  $400 \text{ м}^2$  –  $\delta_{н}$  мм.

Таблиця 3.11 – Показники для виконання завдання 3.3.6

№ 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
$K_{пр}$	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,8

**Завдання 3.3.7.** У приміщенні механічного цеху для обробки сталевих і чавунних заготовок є дільниця нанесення маркування на готові вироби методом шовкографії. Для фарбування використовується емаль, яка містить  $Y$  мас. % розчинника. Визначити максимальну кількість емалі, що може знаходитись у приміщенні цеху на дільниці нанесення маркування. Вид розчинника, вміст його в емалі  $Y$ , вільний об'єм приміщення  $V_{в}$  і температуру повітря  $t_{п}$  у приміщенні прийняти за табл. 3.12. Вентиляція у приміщенні цеху на момент аварійної ситуації (розлив емалі по підлозі приміщення цеху) не працювала. Тривалість аварійного режиму не перевищує 1 год. Висота цеху – 8 м.

Таблиця 3.12 – Показники для виконання завдання 3.3.7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розчинник	Ацетон		Бензол		Гептан		Метанол		Толуол	
$Y$ , % мас.	60	80	50	75	65	85	60	85	50	80
$V_{в} \times 10^2$ , $\text{м}^3$	1,2	1,5	1,7	2,0	1,0	1,6	0,8	1,3	1,4	1,8
$t_{п}$ , $^{\circ}\text{C}$	16	21	18	24	22	25	24	28	22	26

**Завдання 3.3.8.** Визначити максимальну безпечну кількість горючого газу, який може знаходитись у пробовідбірнику. Газ поступає до заводської лабораторії для проведення аналізу його складу. Визначити також допустимий об'єм пробовідбірника, якщо тиск газу в ньому дорівнює  $P_p$ . Вид горючого газу, вільний об'єм приміщення лабораторії  $V_v$  й температуру повітря у приміщенні  $t_{п}$  прийняти за табл. 3.13. Вентиляція у лабораторії на момент аварійного руйнування пробовідбірника не працює.

Таблиця 3.13 – Показники для виконання завдання 3.3.8

№ 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
$V_v \times 10^3$ , м <sup>3</sup>	0,3	0,4	0,2	0,5	0,4	0,35	0,3	0,4	0,2	0,7
$t_{п}$ , °С	18	20	22	24	25	19	21	23	20	19

**Завдання 3.3.9.** Визначити перепускну спроможність запобіжного клапана (тип клапана – СППК-4), встановленого на ресивері стисненого горючого газу. Скидання горючого газу відбувається у спеціальну закриту систему. Вид горючого газу в ресивері, його робочий тиск ( $P_p$ ) і температуру ( $t_p$ ) в ресивері, а також інші вихідні дані прийняти за табл. 3.14.

Таблиця 3.14 – Показники для виконання завдання 3.3.9

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горючий газ	Водень	Метан	Аміак	Етан	Пропан	Водень	Метан	Етилен	Етан	Пропан
$t_p$ , газу, °С	20	80	10	20	15	60	80	20	15	80
$P_p$ , МПа	0,8	0,3	0,4	0,7	1,0	1,4	1,3	1,2	1,15	2,5
Тиск у закритій системі ( $P_c$ ), МПа	0,12	0,14	0,11	0,15	0,14	0,13	0,14	0,11	0,2	0,15
$t_p$ , °С	18	20	22	24	25	80	60	10	25	15
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 клапана, м	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
Максимальний виток газу до ресивера під час аварії, кг/год	350	250	800	300	1600	500	1500	400	2300	1500

**Завдання 3.3.10.** У виробничому процесі усередині ємності з горючим продуктом (за визначених умов експлуатації) утворюється вибухонебезпечна парогазова суміш. Для захисту від руйнування під час вибуху горючої суміші апарат обладнано розривним мембранним пристроєм. Зробити висновок про вірність вибору мембранного пристрою та надійність захисту апарата від руйнування. Вихідні дані до виконання завдання наведені у табл. 3.15. Скидання середовища з апарата під час спрацьовування мембрани здійснюється до атмосфери.

Таблиця 3.15 – Показники для виконання завдання 3.3.10

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Горючий продукт	Ацетон	Гексан	Толуол	Циклогексан	Етанол	Бензол	Бутан	Метанол	Пропан	Бутанол	
Концентрація, % об.	8,0	Ст*	4,0	Ст*	Ст*	4,0	Ст*	Ст*	6,0	Ст*	
Апарат	Діаметр, м	1,1	1,6	2,2	1,6	2,5	0,7	3,0	0,9	4,0	1,3
	Висота, м	1,9	1,2	1,7	2,3	2,0	3,2	3,0	2,4	3,0	2,7
Робоча температура, °С	235	80	150	120	200	380	-30	310	0	240	
Робочий тиск, МПа	0,12	0,2	0,1	1,1	0,15	0,7	0,1	0,13	0,1	0,4	
Площа скидних отворів, м <sup>2</sup>	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	
Матеріал мембрани	М'який алюміній		М'яка мідь		М'яка нержавіюча сталь		М'який нікель		Напівтвердий нікель		
Швидкість корозії, мм/рік	0,002	0,004	0,006	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	

**Примітка:**\*ст – стехіометрична концентрація горючої речовини.

**Завдання 3.3.11.** Розрахувати товщину прокату для виготовлення хлопаючої мембрани з плоским ущільненням. Матеріал, діаметр і тиск спрацьовування мембрани прийняти за табл. 3.16.

**Завдання 3.3.12.** Визначити термін дії запобіжної мембрани з нікелю НП-2 у виробництві хлорбензолу (середовище хлор). Тип мембрани, умови експлуатації (товщина, робочий тиск в апараті, тиск спрацьовування мембрани, температура, швидкість корозії) прийняти за табл. 3.17.



Таблиця 3.16 – Показники для виконання завдання 3.3.11

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Матеріал мембрани	Алюміній	Нержавіюча сталь	Нікель	Алюміній	Нержавіюча сталь	Нікель	Алюміній	Нержавіюча сталь	Нікель	Алюміній
Діаметр мембрани, мм	60	65	70	75	80	85	90	95	105	110
Тиск спрацьовування, МПа	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Таблиця 3.17 – Показники для виконання завдання 3.3.12

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип мембрани	Розривна	Хлопаюча	Розривна	Розривна	Хлопаюча	Розривна	Розривна	Хлопаюча	Розривна	Хлопаюча
Товщина мембрани, мм	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
Робочий тиск, МПа	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Тиск спрацьовування, МПа	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
Робоча температура, °С	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Швидкість корозії, мм/рік	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001

#### 4 ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЙ ПРИМІЩЕНЬ, БУДИНКІВ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ І ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

Проблема запобігання пожежам і вибухам на потенційно небезпечних виробництвах (об'єктах) є надзвичайно актуальною і вимагає негайного вирішення; одним із напрямів її вирішення є створення та дотримання нормативно-технічної бази. До таких напрямів відноситься система категорювання виробничих приміщень, будівель і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою, яка формує протипожежні вимоги до планування, будівництва та експлуатації виробничих об'єктів.

**Категорія пожежної (вибухопожежної) безпеки** – класифікаційна характеристика пожежної (вибухопожежної) безпеки будинку

(або частини будинку у межах протипожежного відсіку), приміщення, зовнішньої установки, що визначається кількістю та пожежовибухонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що знаходяться (обертаються) в них, з урахуванням особливостей технологічних процесів виробництв [5].

До основних положень, якими керуються під час визначення категорії приміщень, будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою, відносяться [5]:

- за вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення і будинки поділяють на категорії А, Б, В, Г та Д, а зовнішні установки – на категорії А<sub>з</sub>, Б<sub>з</sub>, В<sub>з</sub>, Г<sub>з</sub> та Д<sub>з</sub>;

- категорії приміщень, будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначають для найбільш несприятливого щодо виникнення пожежі або вибуху періоду, виходячи з виду горючих речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) в апаратах, приміщеннях і зовнішніх установках, їх кількості, пожежонебезпечних властивостей, особливостей технологічних процесів;

- визначати категорію приміщень слід послідовно по низхідній – від більш вибухопожежонебезпечної категорії А до Д за винятком категорії Г.

- визначення пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів проводиться на підставі результатів випробувань або розрахунків за стандартними методиками з урахуванням параметрів стану (тиску, температури тощо);

- під час розрахунків допускається використання довідникових даних та даних з паспорта безпеки хімічної продукції ДСТУ ГОСТ 30333:2009. У разі відсутності даних про показники пожежної небезпеки горючих сумішей речовин і матеріалів допускається приймати показники пожежної небезпеки вказаних речовин і матеріалів за найбільш небезпечним компонентом.

## **4.1 Визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою**

### **4.1.1 Теоретична частина**

Визначення категорій приміщень здійснюється згідно табл. 1 [5] шляхом послідовної перевірки належності приміщення до категорій від найвищої (категорія А) до найнижчої (категорія Д) за винятком категорії Г.

При визначенні категорії приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою необхідно перш за все вивчити технологічний процес, його параметри та ознайомитись із розмірами виробничого приміщення.

Під час розрахунку значень критеріїв вибухопожежної небезпеки як розрахунковий слід обирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, за яким у вибуху бере участь найбільша кількість речовин і матеріалів, що є найбільш небезпечними щодо наслідків вибуху.

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

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

При визначенні кількості речовин, що потрапили до приміщення під час аварії та утворюють вибухонебезпечні газо- паро- та пилоповітряні суміші, беруться до уваги наступні допущення:

1. Увесь вміст апарата потрапляє до приміщення.
2. Відбувається одночасно витікання речовин із трубопроводів, які живлять апарат по прямому і зворотному потоках, протягом часу, необхідного для перекривання трубопроводів.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів визначається у 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 таким, що дорівнює:

- часу спрацьовування (приведення в дію) системи автоматики відключення (перекривання) трубопроводів – згідно з паспортними даними установки, якщо ймовірність відмови системи автоматики не перевищує  $10^{-6}$  на рік або забезпечується резервування її елементів (але не більше 120 с.);
- 120 с – якщо ймовірність відмови системи автоматики перевищує  $10^{-6}$  на рік та у системі автоматики не забезпечується резервування її елементів;
- 300 с – у разі ручного відключення (перекривання).

Не допускається використання технічних засобів для перекривання трубопроводів, для яких час перекривання перевищує наведені вище значення.

Швидкодіючі клапани-відсікачі повинні автоматично перекривати подавання газу (рідини) по трубопроводам у разі порушення електрозабезпечення або при спрацьовуванні системи пожежної сигналізації та автоматичних систем пожежогасіння чи газоаналізаторів, або різкого падіння тиску у трубопроводах.

3. При прогнозуванні аварійних ситуацій, що пов'язані з виходом ЛЗР та ГР, необхідно додатково враховувати випаровування рідини за умов, коли:

– відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася; площа випаровування, у разі розливу на підлогу, визначається (у разі відсутності довідникових даних) виходячи з розрахунку, що 1 л сумішей та розчинів, які містять 70 % і менше (за масою) розчинників, розливається на площі  $0,5 \text{ м}^2$ , а інших рідин - на  $1 \text{ м}^2$  підлоги приміщення;

– відбувається випаровування рідини з відкритої поверхні ємностей технологічного обладнання та з поверхонь, на які за технологічним процесом нанесена горюча рідина, що на час аварії знаходиться у стадії висихання (наприклад, пофарбовані поверхні).

У всіх випадках тривалість випаровування рідини приймається рівною з часом її повного випаровування, але не більше 3600 с.

4. При прогнозуванні аварійних ситуацій, що пов'язані з виходом пилу, кількість пилу, який може утворювати вибухонебезпечну суміш, визначають, виходячи з таких передумов:

– розрахунковій аварії передувало накопичення пилу у виробничому приміщенні, яке відбувалося в умовах нормального режиму роботи (наприклад, внаслідок виділення пилу з негерметичного виробничого обладнання);

– у момент розрахункової аварії сталась планова (ремонтні роботи) або позапланова розгерметизація одного з технологічних апаратів, внаслідок якої стався аварійний викид до приміщення усього пилу, що знаходився в апараті.

5. Вільний об'єм приміщення визначають як різницю між геометричним об'ємом приміщення (з урахуванням підвісних стель – у разі їх наявності) і об'ємом, який займає технологічне обладнання. Якщо вільний об'єм приміщення визначити неможливо, допускається приймати його рівним 80 % від загального об'єму приміщення.

6. При визначенні маси ( $m$ ) ГГ або парів ЛЗР та ГР, що потрапили внаслідок розрахункової аварії до приміщення, допускається враховувати роботу аварійної вентиляції, якщо вона забезпечена резервними вентиляторами, автоматичним пуском у разі перевищення максимально допустимої вибухобезпечної концентрації речовин у повітрі та електрозабезпеченням за першою категорією надійності (ПУЕ), за умови розміщення пристроїв для видалення повітря з приміщення у безпосередній близькості від місця можливої аварії (апарата, установки тощо).

При цьому масу ГГ або парів ЛЗР, або ГР, нагрітих до температури спалаху і вище, які потрапили в об'єм приміщення, слід розділити на коефіцієнт  $K$ , що визначають за формулою:

$$K = A \cdot \tau + 1, \quad (4.1)$$

де  $A$  – кратність повітрообміну, що створює аварійна вентиляція,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $\tau$  – тривалість потрапляння ГГ та парів ЛЗР і ГР до об'єму приміщення,  $\text{с}$  (приймається за пунктом 3 цих допущень).

7. Якщо під час аварійної ситуації можливе виділення ГГ, парів ЛЗР, горючого пилу та волокон, надлишковий тиск вибуху у приміщенні слід визначати як суму надлишкових тисків вибуху, які розраховані окремо для ЛЗР, ГГ, горючого пилу та волокон.

### **Розрахунок надлишкового тиску вибуху**

Надлишковий тиск вибуху ( $\Delta P$ ) при спалахуванні локального накопичення горючої суміші визначається з урахуванням процесу горіння та негерметичності приміщення.

Розрахункове визначення надлишкового тиску вибуху здійснюється з урахуванням особливостей хімічного складу горючих речовин та матеріалів.

Надлишковий тиск вибуху для індивідуальних горючих речовин, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{вільн} \cdot \rho_{г,п}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (4.2)$$

де  $P_{max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі, який визначається дослідним шляхом або приймається за довідковими даними. У разі відсутності таких даних допускається приймати  $P_{max}$  таким, що дорівнює 900 кПа;

$P_0$  – початковий тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа);

$m$  – маса ГГ або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, яку визначають для ГГ за формулою (4.8), а для парів ЛЗР та ГР – за формулою (4.13), кг;

$Z$  – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів і парів в об'ємі приміщення згідно з додатком до [5]. Допускається приймати значення  $Z$  за табл. 4.1;

$V_{вільн}$  – вільний об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ . Приймається згідно п.5 розділу 4.1.1;

$\rho_{г,п}$  – густина газу або пари за розрахункової температури  $t_p$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , що визначається за формулою:

$$\rho_{г,п} = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367t_p)}, \quad (4.3)$$

де  $M$  – молярна маса, кг/кмоль<sup>-1</sup>;

$V_0$  – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м<sup>3</sup>/кмоль;

$t_p$  – розрахункова температура, °С. Як розрахункову температуру слід приймати максимально можливу температуру повітря в даному приміщенні у відповідній кліматичній зоні або максимально можливу температуру повітря за технологічним регламентом, з урахуванням можливого підвищення температури у разі аварійної ситуації.

$C_{ст}$  – стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об.), що визначається за формулою:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (4.4)$$

де  $\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}$  – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції згоряння (при розрахунку  $\beta$  атоми азоту не враховуються);

$n_c, n_n, n_o, n_x$  – число атомів С, Н, О та галогенів у молекулі ГГ або парів ГР;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадиабатичність процесу горіння. Допускається приймати  $K_n$  рівним 3.

Негерметичність приміщення зумовлена постійно відкритими прорізами в огорожувальних конструкціях приміщення.

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнта ( $Z$ ) участі ГГ або парів ЛЗР у вибуху

Вид горючої речовини	Значення $Z$
Водень	1,0
ГГ (крім водню)	0,5
ЛЗР та ГР, нагріті до температури спалаху і вище	0,3
ЛЗР та ГР, нагріті нижче температури спалаху, за умови можливості утворення аерозолі	0,3
ЛЗР та ГР, нагріті нижче температури спалаху, за неможливості утворення аерозолі	0

### Визначення надлишкового тиску вибуху для сумішей та горючого пилу

Розрахунок надлишкового тиску вибуху для інших індивідуальних речовин та сумішей, а також горючого пилу, може бути виконаний за формулою:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}}, \quad (4.5)$$

де  $m$  – маса ГГ або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, яку визначають для ГГ за формулою (4.8), а для парів ЛЗР та ГР – за формулою (4.13), кг;

$H_T$  – теплота згоряння, Дж/кг;

$P_0$  – початковий тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа);

$Z$  – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів і парів в об'ємі приміщення згідно з додатком до [5]. Допускається приймати значення  $Z$  за табл. 4.1. Для горючого пилу у завислому стані (аерозоль)  $Z$  розраховується за формулою:

$$Z = 0,5 \cdot F, \quad (4.6)$$

де  $F$  – масова частка частинок пилу розміром менше критичного. З перевищенням критичного розміру частинок пилу аерозоль стає вибухобезпечною речовиною, нездатною поширювати полум'я. У разі відсутності можливості отримання даних щодо масової частки пилу розміром частинок менше критичного, допускається приймати  $Z = 0,5$ .

$V_{\text{вільн}}$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{п}}$  – густина повітря до вибуху за початкової температури  $T_0$ , кг/м<sup>3</sup>;

$C_p$  – теплоємність повітря, Дж/кг·К (допускається приймати рівною  $1,01 \cdot 10^3$  Дж/кг·К);

$T_0$  – початкова температура повітря, К.

### **Визначення надлишкового тиску вибуху для речовин і матеріалів, які здатні вибухати та горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним**

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  для речовин і матеріалів, здатних вибухати та горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним, визначають за формулою (4.2), приймаючи, що  $Z = 1$  і  $H_T$  – це енергія, яка виділяється під час взаємодії вищевказаних речовин (з урахуванням того, що вищевказаний процес взаємодії проходить до кінця, тобто до утворення кінцевих продуктів), або експериментально під час натурних випробувань. У випадку, якщо визначити величину  $\Delta P$  неможливо, слід приймати її більшою за 5 кПа.

### **Визначення надлишкового тиску вибуху для складних вибухонебезпечних сумішей**

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху ( $\Delta P$ ) для складних вибухонебезпечних сумішей, які містять ГГ (пари) і пил, визначають за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (4.7)$$

де  $\Delta P_1$  – тиск вибуху, обчислений для ГГ (парів) відповідно до формул (4.2) та (4.5);

$\Delta P_2$  – тиск вибуху, що обчислений для горючого пилу відповідно до формул (4.5) та (4.6).

### **Розрахунок маси горючих речовин, що надходять до приміщення при розгерметизації технологічного обладнання**

#### **Приміщення з горючими газами**

В основі визначення розрахункової маси горючого газу беруться до уваги наступні положення:

– відбувається аварія одного з апаратів (чи трубопроводів), за якою до приміщення може надійти найбільша кількість найбільш небезпечної речовини;

– відбуваються витіки газу із трубопроводів, підключених до пошкодженого апарата, протягом часу, необхідного для їх відключення.

Масу ( $m$ ) газу, що потрапив до приміщення під час розрахункової аварії, визначають за формулою, кг:

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_g, \quad (4.8)$$

де  $V_a$  – об'єм газу, що вийшов з апарата,  $\text{м}^3$ ;

$V_T$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводів,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_g$  – густина газу за розрахункової температури  $t_p$ , що визначається за формулою (4.3). При цьому

$$V_a = \frac{P_1}{P_0} \cdot V = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \quad (4.9)$$

де  $P_1$  – тиск в апараті, кПа;

$V$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (4.10)$$



де  $V_{1T}$  – об’єм газу, що вийшов із трубопроводу до його перекривання,  $\text{м}^3$ ;

$V_{2T}$  – об’єм газу, що вийшов із трубопроводу після його перекривання,  $\text{м}^3$ ;

$$V_{1T} = q \cdot \tau, \quad (4.11)$$

де  $q$  – витрата газу, яку визначають згідно з технологічним регламентом залежно від тиску у трубопроводі, його діаметра, температури газового середовища тощо,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\tau$  – час, який визначають за пунктом 3 розділу 4.1.1, с;

$$\begin{aligned} V_{2T} &= \pi \frac{P_2}{P_1} \cdot (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n) = \\ &= 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n) \end{aligned} \quad (4.12)$$

де  $P_2$  – максимальний тиск у трубопроводі за технологічним регламентом, кПа;

$r$  – внутрішній радіус трубопроводів, м;

$L$  – довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувок, м;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

### **Приміщення з легкозаймистими та горючими рідинами**

Під час прогнозування аварійних ситуацій, що пов’язані з виходом ЛЗР та ГР, необхідно враховувати випаровування рідини з відкритих за нормальних умов експлуатації ємностей та апаратів, з різних розпилюючих пристроїв, з поверхні розлитих рідин, а також із поверхонь зі свіжонанесеною рідиною (фарбою).

Масу парів рідини ( $m$ ), які потрапили до приміщення за наявності декількох джерел випаровування (поверхня розлитої рідини, поверхня зі свіжонанесеною рідиною, відкриті ємності тощо), визначають за формулою:

$$m = m_p + m_{\text{смн}} + m_{\text{св}}, \quad (4.13)$$

де  $m_p$  – маса рідини, що випарувалася з поверхні розливу, кг;

$m_{\text{смн}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь відкритих ємностей, кг;

$m_{\text{св}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь, на які було нанесено свіжу рідину, кг.

За цих умов кожен зі складових у формулі (4.13) визначають за формулою:

$$m = W \cdot F_v \cdot \tau, \quad (4.14)$$

де  $W$  – інтенсивність випаровування,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$F_v$  – площа випаровування,  $\text{м}^2$ , яку визначають відповідно до пункту 3 розділу 4.1.1 залежно від маси рідини  $m_p$ , що потрапила до приміщення;

$\tau$  – тривалість випаровування, с. Приймається згідно п. 3 розд. 4.1.1.

У разі, якщо аварійна ситуація пов'язана з можливим надходженням рідини в розпиленому стані, то вона має бути врахована у формулі (4.13) шляхом введення додаткової складової, яка враховує загальну масу рідини, що надійшла від розпилювальних пристроїв, виходячи з тривалості їхньої роботи.

Інтенсивність випаровування  $W$  визначають за довідковими та експериментальними даними. Для ЛЗР, нагрітих вище температури навколишнього середовища, у разі відсутності таких даних, допускається розраховувати  $W$  за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot (M)^{\frac{1}{2}} \cdot P_n, \quad (4.15)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який приймають за табл. 4.2 залежно від швидкості повітряного потоку, що створюється аварійною вентиляцією, та температури повітряного потоку над поверхнею випаровування (у разі відсутності аварійної вентиляції  $\eta$  дорівнює 1);

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

$P_n$  – тиск насиченої пари за розрахункової температури рідини  $t_p$  (кПа), визначений за довідковими даними або за формулою:

$$P_n = 10^{A - \frac{B}{C_a + t_p}} \quad (4.16)$$

де  $A, B, C_a$  – константи рівняння Антуана (табл. 2 додатка).

Швидкість повітряного потоку у приміщенні (м/с) можна визначити за формулою:

$$U_n = A \cdot l, \quad (4.17)$$

де  $A$  – кратність повітрообміну,  $\text{с}^{-1}$ ;

$l$  – довжина приміщення, м.

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнта  $\eta$  залежно від швидкості повітряного потоку й температури повітря у приміщенні

Швидкість повітряного потоку у приміщенні, м·с <sup>-1</sup>	Значення коефіцієнта $\eta$ за температури повітря у приміщенні t, °C					
	10	15	20	30	35	37
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3	2,3
0,3	5,3	4,5	4,1	2,8	2,6	2,6
0,4	6,0	5,1	4,7	3,2	2,9	2,8
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2	3,1
0,6	7,3	6,3	5,9	4,0	3,5	3,4
0,7	7,9	6,9	6,4	4,4	3,8	3,7
0,8	8,6	7,5	6,8	4,8	4,1	4,0
0,9	9,3	8,1	7,3	5,2	4,4	4,3
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6	4,4

Масу парів рідини ( $m_{\text{нагр}}$ ), нагрітої вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння рідини, визначають за формулою, кг:

$$m_{\text{нагр.}} = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{C_p \cdot m_p}{L_{\text{вип}}}, \quad (4.18)$$

де  $M$  – молярна маса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;

$P_{\text{н}}$  – тиск насиченої пари за розрахункової температури рідини  $t_p$  (кПа);

$C_p$  – питома теплоємність рідини за початкової температури випаровування, Дж/кг К;

$L_{\text{вип.}}$  – питома теплота випаровування рідини за початкової температури випаровування, довідкові дані, Дж/кг;

$m_p$  – маса рідини, кг.

За відсутності довідкових даних допускається визначати питому теплоту випаровування за формулою:

$$L_{\text{вип.}} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_a^2}{(T_a + C_a - 273,2)^2 \cdot M}, \quad (4.19)$$

де  $B$ ,  $C_a$  – константи рівняння Антуана, визначають за довідковими даними для тиску насичених парів (кПа) (табл. 2 додатка);

$T_a$  – початкова температура нагрітої рідини, К.

Формули (4.18) та (4.19) справедливі для рідин, нагрітих до температури спалаху і вище за умови, що температура спалаху рідини перевищує значення розрахункової температури.

### Приміщення з горючим пилом

В основі розрахункової моделі прогнозування надходження пилу до приміщення при аварійній ситуації – наступні передумови:

– за нормальної роботи технологічного обладнання відбувається безперервне виділення пилу через нещільності, щілини та отвори в обладнанні. Поступово осідаючи, пил накопичується на поверхні конструкцій та обладнання;

– максимальна кількість пилу, що відклався, визначається залежно від кількості пилу, що видаляється одиницею обладнання, можливого числа працюючих одиниць обладнання, середньої продуктивності роботи обладнання між циклами та ефективності пилоприбирання;

– за умови максимально можливої кількості осілого пилу відбувається аварійний викид пилу і перехід його у завислий стан з обладнання, трубопроводів чи шляхом розриву тари.

Розрахункову масу пилу, що знаходиться у стані аерозолу в об'ємі приміщення в результаті аварійної ситуації ( $m_{гп}$ ), визначають за формулою, кг:

$$m_{гп} = \min \begin{cases} m_{зв} + m_{ав} \\ \rho_{ст} V_{ав} / Z \end{cases}, \quad (4.20)$$

де  $m_{зв}$  – розрахункова маса частини відкладеного у приміщенні пилу, що перейшла у стан аерозолу, кг;

$m_{ав}$  – розрахункова маса пилу, що надійшла до приміщення внаслідок аварійної ситуації з апаратів і технологічного обладнання, кг;

$\rho_{ст}$  – стехіометрична концентрація горючого пилу в аерозолі, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{ав}$  – розрахунковий об'єм пилоповітряної суміші, що утворюється під час аварійної ситуації в об'ємі приміщення, м<sup>3</sup>;

$Z$  – коефіцієнт участі пилу у завислому стані (стані аерозолу) у вибуху, який розраховують за формулою (4.6).

За відсутності можливості отримати дані для розрахунку  $V_{ав}$  допускається приймати:

$$m_{гп} = m_{зв} \cdot m_{ав}. \quad (4.21)$$

Розрахункову масу пилу, що перейшов у стан аерозолу ( $m_{зв}$ ), визначають за формулою:

$$m_{зв} = K_{зв} \cdot m_{п}, \quad (4.22)$$

де  $K_{зв}$  – частка пилу, що відклався у приміщенні, здатного перейти у стан аерозолу внаслідок аварійної ситуації. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{зв}$ , допускається приймати  $K_{зв} = 0,9$ ;

$m_{п}$  – маса пилу, що відклалась у приміщенні до моменту аварії, кг.

Розрахункову масу пилу, що потрапила до приміщення з апарата або технологічного обладнання внаслідок аварійної ситуації ( $m_{ав}$ ), визначають за формулою:

$$m_{ав} = (m_{ап} + q \cdot \tau) \cdot K_{п} \quad (4.23)$$

де  $m_{ап}$  – маса горючого пилу, що викидається до приміщення з апарата, кг;

$q$  – витрата, з якою продовжують надходити пилоподібні речовини до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau$  – час перекривання, який визначається за пунктом 2. підрозділу 4.1.1, с;

$K_{п}$  – коефіцієнт запилення, що являє собою відношення маси пилу у стані аерозолу до усієї маси пилу, який надійшов з апарата до приміщення. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{п}$ , допускається приймати:

- для пилу з дисперсністю не менше ніж 350 мкм  $K_{п} = 0,5$ ;
- для пилу з дисперсністю менше ніж 350 мкм  $K_{п} = 1,0$ .

Значення  $m_{ап}$  приймають відповідно до підрозділу 4.1.1.

Масу пилу, що відклався у приміщенні до моменту аварії, визначають за формулою:

$$m_{п} = K_{г} \cdot (1 - K_{пр}) \cdot (m_1 + m_2) \quad (4.24)$$

де  $K_{г}$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу;

$m_1$  – маса пилу, що осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між генеральними прибираннями, кг;

$m_2$  – маса пилу, що осідає на доступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між поточними прибираннями, кг;

$K_{пр}$  – коефіцієнт ефективності прибирання пилу, який приймається у разі прибирання пилу вручну:

- у разі сухого прибирання – 0,6;
- у разі вологого прибирання – 0,7.

У разі застосування автоматичних засобів прибирання пилу коефіцієнт ефективності прибирання пилу становить:

- для рівної підлоги – 0,9;
- для підлоги з вибоїнами (до 5 % площі) – 0,7.

Під важкодоступними для прибирання площами розуміють поверхні у виробничих приміщеннях, очищення яких здійснюють тільки під час генеральних прибирань пилу. Під доступними для прибирання площами розуміють поверхні у виробничих приміщеннях, пил з яких видаляють у процесі поточних прибирань (кожної зміни, щодоби тощо).

Масу пилу  $m_i$  ( $i = 1$  (важкодоступні місця);  $i = 2$  (доступні місця), що осідає на різних поверхнях у приміщенні за період між прибираннями, визначають за формулою:

$$m_i = M_i \cdot (1 - \alpha) \beta_i, \quad (i = 1, 2) \quad (4.25)$$

де  $M_i = \sum_j M_{ij}$  – маса пилу, що потрапляє до об'єму приміщення за період часу між генеральними прибираннями пилу, кг;

$M_{ij}$  – маса пилу, що виділяється одиницею обладнання за вказаний період, кг;

$M_2 = \sum_j M_{2j}$  – маса пилу, що потрапляє до об'єму приміщення за період часу між поточними прибираннями пилу, кг;

$M_{2j}$  – маса пилу, що виділяється одиницею обладнання за вказаний період, кг;

$\alpha$  – частка пилу, що потрапляє до об'єму приміщення і видаляється витяжними вентиляційними системами. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $\alpha$ , приймають  $\alpha = 0$ ;

$\beta_1, \beta_2$  – частки пилу, який потрапляє до об'єму приміщення та осідає відповідно на важкодоступних і доступних для прибирання поверхнях приміщення ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

У разі відсутності даних щодо значень коефіцієнтів  $\beta_1$  та  $\beta_2$ , допускається приймати  $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$ .

Значення  $M_i$  ( $i = 1, 2$ ) може бути також визначене експериментально (або за аналогією з діючими зразками виробництва) у період максимального завантаження обладнання за формулою:

$$M_i = \sum_j (G_{ij} \cdot F_{ij}) \cdot \tau_i, \quad (i=1, 2), \quad (4.26)$$

де  $G_{1j}, G_{2j}$  – інтенсивність відкладення пилу відповідно на важкодоступних  $F_{1j}$  ( $m^2$ ) і доступних  $F_{2j}$  ( $m^2$ ) площах,  $кг \cdot m^{-2} \cdot c^{-1}$ ;

$\tau_1, \tau_2$  – проміжки часу відповідно між генеральними і поточними прибираннями пилу, с.

За умови відсутності даних про масу горючого пилу і волокон, що виділяється в об'ємі приміщення між прибираннями, про масу пилу, що осідає на важкодоступних для прибирання місцях, і, як наслідок, неможливість виконання розрахунків, приймати категорію приміщення - Б.

### **Визначення категорій приміщень за пожежною небезпекою**

До пожежонебезпечної категорії В відносяться приміщення, які не відносяться до категорій А або Б, і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих та горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 м<sup>2</sup> кожна перевищує 180 МДж/м<sup>2</sup>.

*Пожежна навантага* – кількість теплоти, що може виділитися у приміщенні у разі повного згоряння речовин і матеріалів, які обертаються у виробництві, у тому числі технологічне обладнання, кабелі (ізоляція), а також у разі повного згоряння речовин і матеріалів, що знаходяться у складських приміщеннях, меблі тощо, що здатні горіти [5].

*Питома пожежна навантага* – пожежна навантага, що припадає на одиницю площі приміщення [5].

Величину пожежної навантаги, до матеріалів якої входять тверді, рідкі легкозаймисті, горючі, важкогорючі речовини та матеріали у межах пожежонебезпечної ділянки, визначають за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p, \quad (4.27)$$

де  $G_i$  – кількість і-ої складової пожежної навантаги, кг;

$Q_i^p$  – найнижча теплота згоряння і-ої складової пожежної навантаги, МДж/кг (табл. 25, 27 додатка).

Питому пожежну навантагу ( $q$ ), МДж/м<sup>2</sup>, визначають зі співвідношення:

$$q = \frac{Q}{F_{\text{пн}}}, \quad (4.28)$$

де  $Q$  – пожежна навантага, МДж;

$F_{\text{пн}}$  – площа розміщення складових пожежної навантаги, м<sup>2</sup> (під час розміщення складових пожежної навантаги на площі меншій, ніж 10 м<sup>2</sup>, у розрахунках приймається площа 10 м<sup>2</sup>).

Якщо питома пожежна навантага не перевищує  $180 \text{ МДж/м}^2$ , для віднесення приміщення до категорії В або Д слід перевірити виконання наступної вимоги: якщо величина пожежної навантаги ( $Q$ ), що складається з твердих, рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і матеріалів, на окремій ділянці відповідає нерівності (4.29), то приміщення відноситься до категорії В.

$$Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2, \quad (4.29)$$

де  $g_T$  – питома пожежна навантага,  $\text{МДж/м}^2$ ;

$H$  – мінімальна відстань від пожежної навантаги (крім кабельних ліній) до нижнього пояса незахищених металевих ферм або перекриття (покриття), м. Якщо  $g_T < 180 \text{ МДж/м}^2$ , то для розрахунку величина  $g_T$  приймається рівною  $180 \text{ МДж/м}^2$ .

У протилежному випадку приміщення відноситься до категорії Д, за умови, якщо:

– відстань між ділянками, що містять складові пожежної навантаги (тверді горючі та/або важкогорючі речовини і матеріали) не менше за мінімальні граничні відстані  $l_{гр1}$  (табл. 4.3). Значення  $l_{гр1}$  приймаються за умови, якщо  $H \geq 11 \text{ м}$ ; якщо  $H < 11 \text{ м}$ , то мінімальну відстань визначають, як  $l_{гр} = l_{гр1} + (11 - H)$ , де  $l_{гр1}$  приймають за табл. 4.3;

– відстань між ділянками розміщення (розливу), що містять складові пожежної навантаги (легкозаймисті або горючі рідини) не менше за мінімальні граничні відстані  $l_{гр2}$ , які визначають з наступних умов:

$$l_{гр2} \geq 15 \text{ м} \quad \text{при } H \geq 11; \quad (4.30)$$

$$l_{гр2} \geq 26 - H \quad \text{при } H < 11. \quad (4.31)$$

У разі наявності у приміщенні легкозаймистих і горючих рідин площа пожежної навантаги, яка утворюється цими складовими, визначається за площею їх розливу, що дорівнює площі відбортровок ван поблизу ємностей та технологічних апаратів (за їх відсутності приймається за п.3 підрозділу 4.1.1). Допускається під час розрахунку кількості ЛЗР і ГР, що потрапляють до приміщення внаслідок аварії, враховувати для визначення пожежної навантаги розлив у приміщенні вмісту однієї найбільшої ємності (технологічного апарата) за умов спрацьовування інженерних протипожежних заходів під час пожежі (аварійний злив рідини, перекривання трубопроводів, розташування ємностей за межами будівлі тощо).

Критична поверхнева густина променистого потоку  $q_{кр}$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  – мінімальне значення густини теплового потоку, за якого виникає стійке полуменеве горіння матеріалів, на які падає променистий потік.



Таблиця 4.3 – Значення відстаней,  $l_{гр1}$ , залежно від величини критичної густини падаючих променистих потоків  $q_{кр}$

$q_{кр}, \text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{гр1}, \text{м}$	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Значення  $q_{кр}$  (за тривалості опромінення 15 хв.) для деяких матеріалів пожежної навантаги наведені у табл. 4.4 та у табл. 29 додатка.

Таблиця 4.4 – Значення  $q_{кр}$  для деяких матеріалів пожежної навантаги

Матеріал	$q_{кр}, \text{кВт}\cdot\text{м}^{-2}$
Деревина (сосна вологістю 12 %)	13,9
Деревостружкові плити (питома вага – $417 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ )	8,3
Горфобрикет	13,2
Горф кусковий	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
Сіно, солома (за мінімальної вологості до 8 %)	7,0

Якщо матеріали пожежної навантаги складаються з різних матеріалів, то значення  $q_{кр}$  визначають за матеріалом з мінімальним значенням  $q_{кр}$ .

Для матеріалів пожежної навантаги з невідомими значеннями  $q_{кр}$  значення мінімальних граничних відстаней приймають  $l_{гр1} \geq 12 \text{ м}$ .

Значення мінімальних граничних відстаней можуть бути зменшені за умови застосування конструктивних рішень, спрямованих на створення протипожежних перешкод поширенню пожежі між ділянками, що містять складові пожежної навантаги.

#### 4.1.2 Типові приклади визначення категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою

##### Приміщення з горючими газами

**Задача 1.** Визначити категорію компресорного відділення розмірами  $12 \times 6 \times 6 \text{ м}$ , в якому знаходяться апарат з етиленом об'ємом  $10 \text{ м}^3$  та система підвідних і відвідних трубопроводів діаметром  $90 \text{ мм}$ . Довжина підвідного трубопроводу до засувки становить  $0,5 \text{ м}$ , а відвідного –  $4,5 \text{ м}$ . Тиск у системі становить  $244,42 \text{ кПа}$ , продуктивність компресора –  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ , кратність аварійної вентиляції –  $8 \text{ год}^{-1}$ , вимкнення ручне, температура повітря у приміщенні –  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Розв'язання:**

1. Визначаємо густину етилену при технологічних режимах ведення процесу за формулою (4.3):

$$\rho_{\Gamma} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{28}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,164 \text{ кг/м}^3,$$

де  $M$  – молекулярна маса етилену ( $C_2H_4$ ), кг/кмоль;

2. Розраховуємо масу етилену, що надходить до приміщення під час аварії, за формулою (4.8):

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_{\Gamma} = (24,442 + 1,58) \cdot 1,164 = 30,29 \text{ кг},$$

де  $V_a$  – об'єм етилену, що надходить до приміщення з апарата під час аварії, визначаємо за формулою (4.9):

$$V_a = \frac{P_1}{P_0} \cdot V = 0,01 \cdot P_1 \cdot V = 0,01 \cdot 244,42 \cdot 10 = 24,442 \text{ м}^3,$$

а об'єм етилену, що надходить до приміщення з трубопроводів, визначаємо за формулою (4.10):

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} = 1,5 + 0,077 = 1,58 \text{ м}^3.$$

При цьому об'єм газу, що вийшов із трубопроводу до його перекривання, становить (4.11):

$$V_{1T} = q \cdot \tau = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 1,5 \text{ м}^3,$$

а об'єм газу, що вийшов із трубопроводу після його перекривання, становить (4.12):

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 244,42 ((90/2)^2 \cdot 0,5 + (90/2)^2 \cdot 4,5) = 0,077 \text{ м}^3.$$

3. Визначаємо масу етилену, що буде брати участь в утворенні вибухонебезпечної концентрації з урахуванням роботи аварійної вентиляції, за формулою:

$$m^* = \frac{m}{K} = \frac{30,29}{1,66} = 19,54 \text{ кг},$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує роботу вентиляції, становить (4.1):

$$K = A \cdot \tau + 1 = 8 \cdot 300 / 3600 + 1 = 1,66.$$

4. Обчислюємо вільний об'єм приміщення. Приймається за п. 5 підрозділу 4.1.1:

$$V_B = \frac{K_B}{100} \cdot l \cdot b \cdot h = \frac{80}{100} \cdot 12 \cdot 9 \cdot 12 = 1036,8 \text{ м}^3.$$

5. Визначаємо коефіцієнт кисню у реакції горіння етилену за формулою (4.4):

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_0}{2} = 2 + \frac{4 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 3.$$

6. Визначаємо стехіометричну концентрацію горючої речовини за формулою (4.4):

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

7. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху у приміщенні компресорної за формулою (4.2):

$$\Delta P = (P_{\max} - P_0) \frac{m^* \cdot z}{V_B \cdot \rho_{г.п.}} \cdot \frac{100}{\varphi_{ст.}} \cdot \frac{1}{K_H} = (830 - 101) \frac{19,54 \cdot 0,5}{1036,8 \cdot 1,164} \cdot \frac{100}{6,44} \cdot \frac{1}{3} = 28,8 \text{ кПа},$$

де  $P_{\max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної етиленоповітряної суміші, який визначається за довідковими даними (для етиленоповітряної суміші  $P_{\max} = 830$  кПа [ 12,13]).

Отже, приміщення компресорного відділення слід віднести до категорії А за вибухопожежною небезпекою.

### **Приміщення з легкозаймистими рідинами**

**Задача 1.** Визначити категорію приміщення складу ацетону, в якому зберігається 10 бочок з ацетоном, кожна об'ємом по  $0,08 \text{ м}^3$ . Розміри приміщення –  $12 \times 6 \times 6 \text{ м}$ . Об'єм приміщення –  $432 \text{ м}^3$ . Вільний об'єм приміщення –  $345,6 \text{ м}^3$ . Площа приміщення становить  $72 \text{ м}^2$ .

### **Розв'язання:**

1. Визначаємо фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у приміщенні складу.

Ацетон ( $C_3H_6O$ ). Молекулярна маса ацетону становить 58,08 кг/кмоль, густина – 790,8 кг/м<sup>3</sup>.

Ацетон – легкозаймиста рідина, температура спалаху –18 °С, константи рівняння Антуана:  $A=6,37551$ ;  $B=1281,721$ ;  $C_a=237,088$  (табл.2 додатка).

2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії.

При визначенні надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант аварії приймається розгерметизація однієї бочки та розлив ацетону на підлозі приміщення, виходячи з того, що 1 л ацетону розливається на 1 м<sup>2</sup> підлоги приміщення.

За розрахункову температуру приймається абсолютна температура повітря у даному районі згідно вимог будівельних норм, що дорівнює 32 °С.

3. Визначаємо значення густини парів ацетону за розрахункової температури за формулою (4.3):

$$\rho_r = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{58,08}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 32)} = 2,3190 \text{ кг/м}^3,$$

де  $M$  – молекулярна маса ацетону, кг/кмоль.

4. Визначаємо тиск насиченої пари ацетону ( $P_H$ ) за розрахункової температури рідини за формулою (4.16):

$$P_H = 10^{A - \frac{B}{C_a + t_p}} = 10^{6,37551 - \frac{1281,721}{237,088 + 32}} = 40,95 \text{ кПа},$$

де  $A, B, C_a$  – константи Антуана (довідкові дані).

5. Розраховуємо інтенсивність випаровування ацетону ( $W$ ) за формулою (4.15):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot (M)^{\frac{1}{2}} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 58,08^{0,5} \cdot 40,95 = 3,1208 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^2\text{с},$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який приймають за табл. 4.2 залежно від швидкості повітряного потоку, що створюється аварійною вентиляцією, й температури повітряного потоку над поверхнею випаровування (у разі відсутності аварійної вентиляції  $\eta$  дорівнює 1).

6. Обчислюємо площу випаровування ацетону, виходячи з того, що стався розлив однієї бочки ацетону ( $0,08 \text{ м}^3 = 80 \text{ л}$ ) згідно вимог п.3 підрозділу 4.1.1:

$$F_B = 1,0 \cdot 80 = 80 \text{ м}^2.$$

Оскільки площа приміщення складу становить  $72 \text{ м}^2$ , що менше розрахованої площі розливу ацетону, приймаємо площу розливу рівною площі підлоги приміщення.

7. Визначаємо масу парів ацетону, що надійдуть до приміщення при повному випаровуванні всього вмісту бочки:

$$m_{\text{п}} = V_a \cdot \rho_p = 0,08 \cdot 790,8 = 63,264 \text{ кг.}$$

8. Розраховуємо масу парів ацетону, що надійдуть до навколишнього простору приміщення складу при випаровуванні з поверхні розливу, за формулою (4.14):

$$m = W \cdot F_B \cdot \tau = 3,1208 \cdot 10^{-4} \cdot 72 \cdot 3600 = 80,891 \text{ кг,}$$

де  $\tau$  – тривалість випаровування, с. Приймаємо не більше 3600 с.

Таким чином, за розрахунками при аварійній ситуації випаровується вся маса ацетону, що розливається з бочки, тобто 63,264 кг.

$$m = m_{\text{п}} = 63,264 \text{ кг,}$$

де  $m_{\text{п}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхні розливу, кг.

9. Визначаємо стехіометричну концентрацію парів ацетону за формулою (4.4):

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

де 
$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 3 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{1}{2} = 4.$$

10. Визначаємо надлишковий тиск вибуху в приміщенні складу ацетону за формулою (4.2):

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_{\text{max}} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{г,п}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n} = \\ &= (893 - 101) \frac{63,264 \cdot 0,3}{345,6 \cdot 2,3190} \cdot \frac{100}{4,91} \cdot \frac{1}{3} = 75,7 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

Таким чином, приміщення складу ацетону відноситься до категорії А за вибухопожежною небезпекою, оскільки у приміщенні обертається

ЛЗР із температурою спалаху менше 28 °С і надлишковий тиск вибуху перевищує 5 кПа.

**Задача 2.** Визначити категорію приміщення фарбувального відділення електромеханічного заводу розмірами 30 x 12 x 8 м. У фарбувальному відділенні відбувається просочування обмоток електродвигунів електроізоляційним лаком БТ-99 (в якості розчинника використовують суміш із 46 % (мас.) ксилолу і 2 % (мас.) уайт-спіриту) методом занурення. Процес проводять у відкритій ванні об'ємом 0,5 м<sup>3</sup> (ступінь заповнення ванни лаком становить 0,8). Лак подають до ванни насосом продуктивністю 3,5·10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>·с<sup>-1</sup>. Вимкнення насосу – автоматичне. Довжина підвідного трубопроводу – 7 м, відвідного – 10 м. Діаметр підвідного і відвідного трубопроводу становить 30 мм. У приміщенні працює вентиляція з кратністю повітрообміну 8 год<sup>-1</sup>. Температура повітря у приміщенні становить 30 °С. Густина лаку – 953 кг/м<sup>3</sup>.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у фарбувальному відділенні.

Для просочування обмоток електродвигунів використовують лак БТ-99, в якому у якості розчинника використовують суміш із 46 % (мас.) ксилолу і 2 % (мас.) уайт-спіриту).

Ксилол (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>). Молекулярна маса ксилолу – 106,17 кг/кмоль, густина – 859,9 кг/м<sup>3</sup>.

Ксилол – легкозаймиста рідина, температура спалаху – 28 °С, константи рівняння Антуана: A=6,13329; B=1461,925; C<sub>a</sub>=215,073 (табл.2 додатка).

Уайт-спірит (C<sub>10,5</sub>H<sub>21</sub>). Молекулярна маса – 147 кг/кмоль, густина – 780 кг/м<sup>3</sup>.

Уайт-спірит – легкозаймиста рідина, температура спалаху – 33-36 °С.

**2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії**

Під час визначення надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант аварії приймається розгерметизація ємності з лаком й розлив його на підлозі приміщення. Враховуючи ті обставини, що відсоток розчинників, які входять до складу лаку, не перевищує 70 %, площу розливу лаку приймаємо згідно вимог п. 3 підрозділу 4.1.1 (1 л. лаку розливається на площі 0,5 м<sup>2</sup>) [5].

Розрахунки виконуємо за найбільш несприятливим щодо виникнення пожежі або вибуху варіанту, враховуючи небезпечні властивості речовин та їх кількість. У нашому випадку в суміші розчинників «ксилол (46 % мас.) – уайт-спірит (2 % мас.)» більшу безпеку має ксилол. Подальші розрахунки проводимо за даною речовиною.

3. Визначаємо значення густини парів ксилолу при розрахунковій температурі за формулою (4.3):

$$\rho_r = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{106,17}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 30)} = 4,27 \text{ кг/м}^3,$$

де  $M$  – молекулярна маса ксилолу, кг/кмоль.

4. Розраховуємо об'єм лаку, що надходить до приміщення під час аварії, за формулою:

$$V = (V_a + V_T) = (0,4 + 0,47) = 0,87 \text{ м}^3 = 870 \text{ л},$$

де  $V_a$  – об'єм лаку, що надходить до приміщення з апарата під час аварії, визначаємо з урахуванням ступеня заповнення апарата:

$$V_a = V \cdot \varepsilon = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ м}^3,$$

а об'єм лаку, що надходить до приміщення із трубопроводів, визначаємо за формулою:

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} = 0,42 + 0,05 = 0,47 \text{ м}^3.$$

За цим об'єм лаку, що витікає з трубопроводу до його перекривання у автоматичному режимі, становить:

$$V_{1T} = q \cdot \tau = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 = 0,42 \text{ м}^3,$$

а об'єм лаку, що вийшов з трубопроводу після його перекривання, становить:

$$V_{2T} = \pi \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2) = 3,14 \cdot (0,03^2 \cdot 7 + 0,03^2 \cdot 10) = 0,05 \text{ м}^3.$$

5. Визначаємо площу випаровування розчинника ксилолу, виходячи з того, що стався розлив 80 л лаку. Згідно вимог п. 3 підрозділу 4.1.1. за умови розливу суміші, основна речовина якої складає менше 70 %, площу розливу горючої рідини визначають як:

$$F_B = 0,5 \cdot 80 = 40 \text{ м}^2.$$

6. Розраховуємо тиск насиченої пари ксилолу ( $P_H$ ) за розрахункової температури рідини за формулою (4.16):

$$P_H = 10^{\frac{A-B}{C_a+t_p}} = 10^{\frac{6,13329-1461,925}{215,073+30}} = 1,48 \text{ кПа},$$

де  $A, B, C_a$  – константи Антуана (довідкові дані).

7. Визначаємо інтенсивність випаровування ксилолу ( $W$ ) за формулою (4.15):

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot (M)^{\frac{1}{2}} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot 4,4 \cdot 106,17^{0,5} \cdot 1,48 = 67,10 \cdot 10^{-6} \text{ кг / м}^2 \text{ с},$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який приймають за табл. 4.2 залежно від швидкості повітряного потоку, що створюється аварійною вентиляцією, та температури повітряного потоку над поверхнею випаровування. Оскільки у приміщенні працює вентиляція з кратністю повітрообміну –  $8 \text{ год}^{-1}$  ( $2,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ), спочатку визначаємо швидкість руху повітря в приміщенні за формулою:

$$U = A \cdot L = 2,2 \cdot 10^3 \cdot 30 = 0,66 \text{ м/с}.$$

Тоді за швидкості руху повітря  $0,66 \text{ м/с}$  за температури  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  коефіцієнт  $\eta=4,4$ .

8. Розраховуємо масу парів ксилолу, що надійдуть до навколишнього простору приміщення під час їх випаровування з поверхні розливу, за формулою (4.14):

$$m_H = W \cdot F_B \cdot \tau = 67,10 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 3600 = 9,7 \text{ кг},$$

де  $\tau$  – тривалість випаровування, с. Приймаємо не більше  $3600 \text{ с}$ .

9. Визначаємо масу парів розчинника  $m$ , що потрапили до приміщення у разі врахування роботи постійно працюючої загальнообмінної вентиляції:

$$m = \frac{m_H}{A \cdot T + 1} = \frac{9,7}{2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 + 1} = 1,1 \text{ кг}.$$

10. Розраховуємо стехіометричну концентрацію парів ксилолу за формулою (4.4):

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 10,5} = 1,93 \text{ \% об.},$$

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 8 + \frac{10 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 10,5.$$

де



11. Визначаємо вільний об'єм приміщення:

$$V_B = \frac{K_B}{100} \cdot l \cdot b \cdot h = \frac{80}{100} \cdot 30 \cdot 12 \cdot 8 = 2304 \text{ м}^3.$$

12. Розраховуємо коефіцієнт  $Z$  участі парів ксилолу у вибуху згідно з додатком А [5]. Спочатку обчислюємо середню концентрацію парів ксилолу у приміщенні:

$$C_{\text{сеп}} = \frac{100 \cdot m}{\rho_{\text{п}} \cdot V_{\text{вільн.}}} = \frac{100 \cdot 1,1}{4,27 \cdot 2304} = 0,011 \% \text{ (об)}.$$

Розрахунок коефіцієнта  $Z$  виконується за умови, якщо  $C_{\text{сеп}} < 0,5 \cdot C_{\text{НКМП}}$ .

$$0,011 < 0,5 \cdot 1,1 = 0,55 \% \text{ (об)}.$$

Умова нерівності виконується ( $0,011 < 0,55$ ), визначаємо значення коефіцієнта  $Z$  розрахунковим методом. У розрахунках використовуємо формулу у разі рухливого повітряного середовища згідно з додатком А [5].

13. Визначаємо концентрацію насиченої пари ксилолу, % (об) за розрахункової температури – 37 °С, за формулою:

$$C_H = 100 \frac{P_H}{P_0} = \frac{1,48}{101} = 1,46 \% \text{ (об)}.$$

14. Обчислюємо передекспоненціальний множник, % (об), для парів ксилолу за умов рухливого горючого середовища за формулою:

$$C_0 = C_H \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_H \cdot \rho_{\text{п}} \cdot V_B} \right)^{0,46} = 1,46 \left( \frac{1,1 \cdot 100}{1,46 \cdot 4,27 \cdot 2394} \right)^{0,46} = 0,15 \% \text{ (об)}.$$

Відстані  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$ ,  $Z_{\text{НКМП}}$  визначаємо за формулами:

$$X_{\text{НКМП}} = K_1 \cdot L \cdot (K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКМП}}})^{0,5} = 1,1958 \cdot 30 \cdot (1 \cdot \ln \frac{1,21 \cdot 0,15}{1,1})^{0,5} = 0 \text{ м}.$$

$$Y_{\text{НКМП}} = K_1 \cdot S \cdot (K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКМП}}})^{0,5} = 1,1958 \cdot 12 \cdot (1 \cdot \ln \frac{1,21 \cdot 0,15}{1,1})^{0,5} = 0 \text{ м}.$$

$$Z_{\text{НКМП}} = K_1 \cdot S \cdot (K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{\text{НКМП}}})^{0,5} = 0,3536 \cdot 8 \cdot (1 \cdot \ln \frac{1,21 \cdot 0,15}{1,1})^{0,5} = 0 \text{ м.}$$

За мінусових значень логарифмів відстані  $X_{\text{НКМП}}$ ,  $Y_{\text{НКМП}}$ ,  $Z_{\text{НКМП}}$  приймаються рівними 0. Відповідно коефіцієнт  $Z$  дорівнює 0 і надлишковий тиск вибуху парів ксилолу також дорівнює 0.

Таким чином, розрахунковий надлишковий тиск вибуху парів ксилолу не перевищує 5 кПа, тому приміщення фарбувального відділення не відноситься до вибухонебезпечної категорії.

15. Виконаємо перевірку належності приміщення фарбувального відділення до категорії В чи Д.

Згідно вимог п.7.6.1 [5] приймаємо, що площа пожежної навантаги складає  $80 \text{ м}^2$ , оскільки площа розливу лаку на найбільш пожежонебезпечній ділянці становить  $80 \text{ м}^2$  і ємність з лаком у результаті аварії знаходиться на площі розливу.

16. Визначаємо пожежну навантагу ( $Q$ ) та питому пожежну навантагу ( $q$ ) за формулами (4.27) та (4.28):

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p = 829 \cdot 43,154 = 35774 \text{ МДж,}$$

$$g = \frac{Q}{F_{\text{пн}}} = \frac{35774}{80} = 447 \text{ МДж/м}^2,$$

де маса лаку становить:

$$G_i = V \cdot \rho = 0,87 \cdot 953 = 829 \text{ кг,}$$

а теплота згорання лаку ( $Q$ ) дорівнює  $43154 \text{ кДж}$ .

Таким чином, отримане значення питомої пожежної навантаги перевищує  $180 \text{ МДж/м}^2$ , що дозволяє віднести приміщення фарбувального відділення до пожежонебезпечної категорії В.

### Приміщення з горючими рідинами

**Задача 1.** Визначити категорію приміщення пресової ділянки розмірами  $12 \times 6 \times 5 \text{ м}$ . Коефіцієнт вільного об'єму приміщення становить 70 %, вентиляція у приміщенні відсутня. Температура повітря у приміщенні –  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тиск оливи у гідросистемі становить  $20 \text{ кг/см}^2$ . Внутрішній діаметр трубок системи –  $10 \text{ мм}$ . Робоча рідина – олива АМГ-300Т.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у виробничому приміщенні.

Олива АМГ-300Т. Молекулярна маса не відома. Густина рідини – 970 кг/м<sup>3</sup>. Температура спалаху – 170 °С. Теплота згоряння за ДСТУ ISO 1928:2006 – 40224 Дж/кг.

2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії

При визначенні надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант аварії приймається розгерметизація трубки гідросистеми з викидом оливи під тиском з утворенням аерозолі.

3. Визначаємо значення густини повітря у виробничому приміщенні за формулою (4.3):

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{106,17}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,205 \text{ кг/м}^3.$$

4. Обчислюємо масу рідини, що переходить у стан аерозолі під час аварії (аварійний витік з отвору під тиском) за формулою:

$$m_{\text{аер}} = m = \pi \cdot r^2 \cdot U_p \cdot \tau \cdot \rho_p = 3,14 \cdot 0,005^2 \cdot 37,75 \cdot 5 \cdot 970 = 14,3 \text{ кг},$$

де  $U_p$  – швидкість витікання рідини з аварійного отвору, м/с.  
Визначаємо її за формулою:

$$U_p = \mu \cdot \sqrt{0,2 \cdot P_p \cdot g} = 0,6 \sqrt{0,2 \cdot 2020 \cdot 9,8} = 37,75 \text{ м/с},$$

$r$  – внутрішній радіус трубок, м;

$\tau$  – час знаходження крапель рідини у виді аерозолі, с. Приймаємо час – 5 с;

$\rho_p$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$P_p$  – робочий тиск оливи у системі, кПа.

5. Визначаємо вільний об'єм приміщення за формулою:

$$V_{\text{вільн}} = 0,7 \cdot l \cdot b \cdot h = 0,7 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 5 = 252 \text{ м}^3.$$

6. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху аерозолі за формулою (4.5):

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_H} = \frac{14,3 \cdot 40224 \cdot 101 \cdot 0,3}{252 \cdot 1,205 \cdot 1,01 \cdot 293 \cdot 3} = 64,8 \text{ кПа}.$$

Таким чином, приміщення пресової ділянки відноситься до вибухопожежонебезпечної категорії Б, бо в ньому обертається горюча рідина з температурою, нижчою за температуру спалаху, і за умов утворення аерозолю під час його займання розвивається надлишковий тиск вибуху, що перевищує 5 кПа.

При визначенні категорії приміщень із горючими рідинами як розрахунковий обирається найбільш несприятливий варіант аварії, за яким бере участь апарат, що становить собою найбільшу небезпеку. При цьому приймається, що увесь вміст апарата надходить до приміщення й утворює пожежну навантагу [5]. Площа пожежної навантаги визначається з урахуванням особливостей технології, під якою розуміється площа розливу горючої рідини з апарата, що обмежена бортиками, піддонами, зливними ємностями тощо.

**Задача 2.** Визначити категорію машинного відділення цеху розподілу, компресії повітря та компресії продуктів розподілу повітря. У приміщенні знаходяться горючі речовини (турбінні, індустриальні та інші оливи з температурою спалаху понад 61 °С), що обертаються у відцентрових і поршневих компресорах. Кількість оливи у компресорі становить 15 кг. Кількість компресорів – 5. За технологічними умовами площа розташування пожежної навантаги дорівнює 6–8 м<sup>2</sup>. У приміщенні машинного відділення мінімальна відстань від поверхні пожежної навантаги до нижнього поясу ферм перекриття Н становить близько 9 м.

**Розв’язання:**

1. Визначення категорії машинного відділення здійснюємо для найбільш небезпечного випадку, коли кількість оливи у кожному компресорі становить 15 кг, а інша пожежна навантага відсутня.

Турбінна олива – горюча рідина. Нижча температура згорання становить 41,87 МДж/кг.

Згідно вимог [5] приймаємо, що площа пожежної навантаги становить 10 м<sup>2</sup>.

2. Визначаємо пожежну навантагу (Q) та питому пожежну навантагу (q) за формулами (4.27) та (4.28):

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p = 15 \cdot 41,87 = 628 \text{ МДж}, \quad g = \frac{Q}{F_{\text{пн}}} = \frac{628}{10} = 62,8 \text{ МДж/м}^2.$$

3. Питома пожежна навантага на площі 10 м<sup>2</sup> не перевищує 180 МДж/м<sup>2</sup>. Отже, приміщення машинного відділення можна віднести до категорії Д.

Але, згідно вимог [5], у приміщеннях категорії Д мінімальні значення відстаней між ділянками розливу пожежної навантаги, що складається з ЛЗР та ГР, повинні бути не менше значень, що визначаються за умовою:

$$l_{гр2} \geq 26 - H \quad \text{при } H < 11,$$

$$l_{гр2} \geq 26 - 9, \quad l_{гр2} = 17,$$

де  $H$  – мінімальна відстань від поверхні матеріалів пожежної навантаги до нижнього поясу ферм перекриття (покриття), м. У приміщенні машинного відділення мінімальна відстань від поверхні пожежної навантаги до нижнього поясу ферм перекриття  $H$  становить близько 9 м.

За умовою задачі мінімальна відстань між компресорами, а отже, ділянками розливу ГР, становить 6 м, що значно менше граничної мінімальної відстані (17 м).

Отже, приміщення машинного відділення відноситься до категорії В, оскільки відстань між ділянками розливу пожежної навантаги не перевищує мінімальної граничної відстані.

### **Приміщення з нагрітими та перегрітими горючими рідинами**

**Задача 1.** Визначити категорію приміщення реакторного відділення розмірами 22 x 16 x 8 м, у якому відбувається дегідрування етилбензолу в реакторі об'ємом 5 м<sup>3</sup>. Ступінь заповнення реактора – 0,8. Температура повітря у приміщенні – 15 °С. Температура рідини – 90 °С. Кратність повітрообміну у приміщенні – 8 год<sup>-1</sup>.

#### ***Розв'язання:***

1. Визначаємо фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у виробничому приміщенні.

Етилбензол (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>). Молекулярна маса – 106,16 кг/кмоль. Густина рідини – 862,64 кг/м<sup>3</sup>. Температура спалаху – 20 °С. Теплота згоряння – 41323 кДж/кг. Теплоємність – 1,73 кДж/кг К; Температура кипіння – 136,2 °С. Теплота випаровування – 339,4 кДж/кг. Максимальний тиск вибуху – 900 кПа.

#### 2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії

При визначенні надлишкового тиску вибуху парів етилбензолу як розрахунковий варіант аварії приймається розгерметизація реактора, в якому знаходиться етилбензол, нагрітий до температури 90 °С. Для розрахунку маси парів етилбензолу, нагрітого вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння, використовуємо формулу (4.18). За розрахункову температуру приймаємо температуру нагрітої рідини:

$$m_{\text{нагр.}} = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{C_p \cdot m_p}{L_{\text{вип}}},$$

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

$P_{\text{н}}$  – тиск насиченої пари за розрахункової температури рідини  $t_p$  (кПа),  $C_p$  – питома теплоємність рідини за початкової температури випаровування,  $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ ;

$L_{\text{вип.}}$  – питома теплота випаровування рідини за початкової температури випаровування, довідкові дані,  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;

$m_p$  – маса рідини,  $\text{кг}$ .

3. Визначаємо значення густини парів етилбензолу за розрахункової температури за формулою (4.3):

$$\rho_r = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{106,16}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 90)} = 3,56 \text{ кг}/\text{м}^3,$$

де  $M$  – молекулярна маса етилбензолу,  $\text{кг}/\text{кмоль}$ .

4. Розраховуємо тиск насиченої пари етилбензолу ( $P_{\text{н}}$ ) за розрахункової температури рідини за формулою (4.16):

$$P_{\text{н}} = 10^{\frac{A - B}{C_a + t_p}} = 10^{\frac{6,35879 - \frac{1590,660}{229,581 + 90}}{}} = 23,99 \text{ кПа},$$

де  $A, B, C_a$  – константи Антуана (довідкові дані).

5. Визначаємо масу етилбензолу, що виливається при розгерметизації реактора:

$$m = V_a \cdot \rho_p = 5 \cdot 862,64 = 4313,2 \text{ кг}.$$

6. Обчислюємо масу парів нагрітого етилбензолу, що випаровуються під час аварії реактора:

$$m_{\text{нагр.}} = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{C_p \cdot m_p}{L_{\text{вип}}} = 0,02 \cdot \sqrt{106,16} \cdot 23,99 \cdot \frac{1,73 \cdot 4313,2}{339,4} = 108,6 \text{ кг}.$$

7. Визначаємо масу парів етилбензолу, що потрапили до приміщення у разі врахування роботи постійно працюючої загальнообмінної вентиляції:

$$m = \frac{m_{\text{нагр.}}}{A \cdot T + 1} = \frac{108,6}{2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 + 1} = 12,2 \text{ кг},$$

де  $A=8 \text{ год}^{-1} (2,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1})$ .

8. Визначаємо стехіометричну концентрацію парів етилбензолу за формулою (4.4):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 10,5} = 1,93 \% \text{ об.},$$

де  $\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 8 + \frac{10 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 10,5$ .

9. Визначаємо вільний об'єм приміщення:

$$V_{\text{в}} = \frac{K_{\text{в}}}{100} \cdot l \cdot b \cdot h = \frac{80}{100} \cdot 22 \cdot 16 \cdot 8 = 2253 \text{ м}^3.$$

10. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху в реакторному відділенні за формулою (4.2):

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{г,п}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{н}}} = (900 - 101) \frac{12,2 \cdot 0,3}{2253 \cdot 3,56} \cdot \frac{100}{1,93} \cdot \frac{1}{3} = 7,1 \text{ кПа}.$$

Таким чином, приміщення реакторного відділення відноситься до категорії А за вибухопожежною небезпекою, оскільки у приміщенні обертається ЛЗР з температурою спалаху менше  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  і надлишковий тиск вибуху перевищує  $5 \text{ кПа}$ .

**Задача 2.** Визначити категорію приміщення насосної з перекачування етиленгліколю розмірами  $8 \times 6 \times 5 \text{ м}$ . Температура повітря у приміщенні –  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вентиляція у приміщенні відсутня. Температура рідини –  $215 \text{ }^\circ\text{C}$ . Перекачування етилену здійснюється насосом продуктивністю  $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$  з робочим тиском  $2 \text{ атм}$ . Тривалість перекриття трубопроводів –  $3 \text{ с}$ . Довжина підвідного та відвідного трубопроводів радіусом  $0,005 \text{ м}$  становить  $3,0 \text{ м}$ .

**Розв'язання:**

1. Визначаємо фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у виробничому приміщенні.

Етиленгліколь ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ). Молекулярна маса –  $62,07 \text{ кг/кмоль}$ . Густина рідини –  $1113,1 \text{ кг/м}^3$ . Температура спалаху –  $111 \text{ }^\circ\text{C}$ . Теплота зго-

рвання – 19329 кДж/кг. Теплоємність – 2,35 кДж/кг К; Температура кипіння – 197,3 °С. Теплота випаровування – 812,2 кДж/кг. Максимальний тиск вибуху – 900 кПа.

2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії

При визначенні надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант аварії приймається розгерметизація трубопроводу.

3. Визначаємо густину парів етиленгліколю за формулою (4.3):

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{62,07}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 30)} = 2,495 \text{ кг/м}^3.$$

4. Розраховуємо об'єм рідини, що може потрапити до приміщення під час аварії трубопроводів за температури 215 °С, за формулою (4.10):

$$V_{\text{T}} = V_{1\text{T}} + V_{2\text{T}} = 0,06 + 0,0471 = 0,107 \text{ м}^3,$$

де  $V_{1\text{T}}$  – об'єм рідини, що вийшов із трубопроводу до його перекриття і становить (4.11):

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

а об'єм етиленгліколю, що вийшов із трубопроводу після його перекриття, який становить (4.12):

$$V_{2\text{T}} = \pi \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2) = 3,14 \cdot (0,05^2 \cdot 3 + 0,05^2 \cdot 3) = 0,0471 \text{ м}^3.$$

5. Визначаємо масу етиленгліколю, що поступає до приміщення без урахування зменшення об'єму за рахунок охолодження від температури кипіння до температури 30 °С, за формулою:

$$m = V_{\text{T}} \cdot \rho = 0,107 \cdot 1113,1 = 119,21 \text{ кг}.$$

6. Обчислюємо теплоту перегрівання рідини за формулою [10,11]:

$$H_{\text{пер}} = m \cdot C_p \cdot (t_{\text{рід}} - t_{\text{кип}}) = 119,21 \cdot 2,35 \cdot (215 - 197,3) = 4958,5 \text{ кДж}.$$

7. Визначаємо масу парів етиленгліколю, що може утворитись за рахунок теплоти перегрівання, за формулою [10]:

$$m_{\text{пер}} = \frac{H_{\text{пер}}}{H_{\text{вип}}} = \frac{4958,5}{812,2} = 6,1 \text{ кг}.$$



8. Розраховуємо стехіометричну концентрацію парів етиленгліколю за формулою (4.4):

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

де 
$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 2 + \frac{6 - 0}{4} - \frac{2}{2} = 2,5.$$

9. Визначаємо вільний об'єм приміщення за формулою:

$$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot l \cdot b \cdot h = 0,8 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 5 = 192 \text{ м}^3.$$

10. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху в приміщенні насосної з перекачування етиленгліколю за формулою (4.2):

$$\Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{г,л}}} \cdot \frac{100}{C_{\text{ст}}} \cdot \frac{1}{K_n} = (900 - 101) \frac{6,1 \cdot 0,3}{192 \cdot 2,495} \cdot \frac{100}{7,63} \cdot \frac{1}{3} = 13,34 \text{ кПа}.$$

Таким чином, приміщення насосної з перекачування горючої рідини етиленгліколю відноситься до категорії Б за вибухопожежною небезпекою, оскільки у приміщенні обертається горюча рідина з температурою спалаху вище 28 °С, що нагріта вище температури спалаху та вище температури кипіння, й у випадку аварійної ситуації може утворитися вибухонебезпечна пароповітряна суміш, у разі займання якої розвинеться надлишковий тиск вибуху, що перевищує 5 кПа.

### **Приміщення зі скрапленими горючими газами**

**Задача 1.** Визначити категорію приміщення зберігання балонів зі скрапленим газом розмірами 15 x 10 x 5 м. Температура у приміщенні складу 25 °С. Вентиляція у приміщенні відсутня. У приміщенні складу зберігаються балони із пропан-бутаном об'ємом 27 л. Маса скрапленого газу в балоні становить 21,2 кг. Робочий тиск у балоні – 1,6 МПа.

#### **Розв'язання:**

1. Визначаємо фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у виробничому приміщенні.

Пропан (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>). Молекулярна маса – 44,096 кг/кмоль. Температура кипіння – (-42,06) °С. Теплота згоряння – 46353,4 кДж/кг. Нижня концентраційна межа поширення полум'я – 2,3 % (об.). Константи рівняння

Антуана:  $A=5,95547$ ;  $B=813,864$ ;  $C_a=248,116$  (для інтервалу температур від  $(-189)^\circ\text{C}$  до  $(-42)^\circ\text{C}$ ). Максимальний тиск вибуху – 843 кПа.

Бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Молекулярна маса – 58,123 кг/кмоль. Температура кипіння –  $(-0,5)^\circ\text{C}$ . Теплота згоряння – 45713,4 кДж/кг. Нижня концентраційна межа поширення полум'я – 1,8 % (об.). Константи рівняння Антуана:  $A=6,00525$ ;  $B=968,098$ ;  $C_a=242,555$  (для інтервалу температур від  $(-138)^\circ\text{C}$  до  $0^\circ\text{C}$ ). Максимальний тиск вибуху – 843 кПа.

## 2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії

При визначенні надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант аварії приймається розгерметизація балона під час порушення вимог експлуатації. Враховуючи те, що у балоні зберігається суміш газу (пропан-бутан) і константи рівняння Антуана для пропану і бутану є дійсними для мінусового діапазону температур, для розрахунку надлишкового тиску вибуху газу використовуємо формулу (4.5).

3. Визначаємо густину повітря у приміщенні складу за робочої температури за формулою (4.3):

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{29}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 25)} = 1,185 \text{ кг/м}^3.$$

4. Приймаємо, згідно умови задачі, масу газу при розгерметизації балона рівною 21,2 кг.

Враховуючи те, що за умови задачі є невідомим співвідношення газів пропан-бутан, виконаємо розрахунки за кожним газом окремо.

5. Визначаємо вільний об'єм приміщення за формулою:

$$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot l \cdot b \cdot h = 0,8 \cdot 15 \cdot 10 \cdot 5 = 600 \text{ м}^3.$$

6. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху пропану в приміщенні складу за формулою (4.5):

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_o \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_H} = \frac{21,2 \cdot 46353400 \cdot 101 \cdot 0,5}{600 \cdot 1,185 \cdot 1010 \cdot 293 \cdot 3} = 77,3 \text{ кПа.}$$

7. Визначаємо надлишковий тиск вибуху бутану в приміщенні складу за формулою (4.5):

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_o \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_H} = \frac{21,2 \cdot 45713400 \cdot 101 \cdot 0,5}{600 \cdot 1,185 \cdot 1010 \cdot 293 \cdot 3} = 76,23 \text{ кПа.}$$

Таким чином, приміщення складу балонів зі скрапленим газом пропан-бутаном відноситься до категорії А за вибухопожежною небезпекою.

### **Приміщення з горючим пилом**

**Задача 1.** Визначити категорію приміщення шліфувального відділення меблевої фабрики за вибухопожежною і пожежною небезпекою. Розміри виробничого приміщення: 30 x 20 x 5 м. У відділенні експлуатується 5 шліфувальних верстатів продуктивністю 4 виробу за годину кожний (площа кожного виробу становить 1,8 x 2 м). Деревина для виробів – береза. Під час шліфування виробів з їхньої поверхні знімається шар деревини товщиною 0,5 мм.

У виробничому приміщенні працює місцева витяжна вентиляція з ручною системою керування, яка вилучає до 75 % пилу, що виділяється під час процесу шліфування. 70 % деревного пилу, що виділяється під час шліфування, осідає на важкодоступних для прибирання місцях. Циклон для уловлювання пилу розташований за межами будівлі.

Шліфувальне відділення працює в одну 8-годинну зміну 5 днів на тиждень. Прибирання пилу у відділенні ручне, сухе, 1 раз на добу. Генеральне прибирання здійснюється 1 раз на місяць. Температура у приміщенні становить 20 °С.

#### **Розв'язання:**

1. Визначаємо фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у виробничому приміщенні.

Пил, що виділяється під час шліфування виробів із дерева, – березовий пил. Густина пилу – 640 кг/м<sup>3</sup>. Дисперсність пилу – частинки менше 350 мкм - 100 %. Теплота згоряння за ДСТУ 1928:2006 становить 1,67 10<sup>7</sup> Дж/кг.

2. При визначенні надлишкового тиску вибуху горючого пилу як розрахунковий варіант аварії приймається вибух пилу, який накопичується на ділянці шліфування протягом місяця. Для розрахунку надлишкового тиску вибуху використовуємо формулу (4.5).

3. Спочатку обчислюємо густину повітря у приміщенні за формулою (4.3):

$$\rho_{\text{п}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{29}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 20)} = 1,206 \text{ кг/м}^3.$$

4. Розраховуємо вільний об'єм приміщення за формулою:

$$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot l \cdot b \cdot h = 0,8 \cdot 30 \cdot 20 \cdot 5 = 2400 \text{ м}^3.$$

5. Визначаємо масу пилу берези густиною  $640 \text{ кг/м}^3$ , що виділяється одним верстатом за годину роботи, якщо за годину обробляється 4 вироби з поверхнею обробки  $1,8 \times 2 \text{ м}$  і товщиною  $0,5 \text{ мм}$ :

$$m_{\text{п}} = 4 \cdot 1,8 \cdot 2 \cdot 0,0005 \cdot 640 = 4,608 \text{ кг.}$$

6. Розраховуємо масу пилу берези, що виділяється 5 верстатами за 1 зміну між поточними прибираннями пилу, за формулою:

$$M_2 = m_{\text{п}} \cdot N \cdot \tau = 4,608 \cdot 5 \cdot 8 = 184,32 \text{ кг,}$$

де  $m_{\text{п}}$  – маса пилу, що виділяється одним верстатом за одну годину, кг;  
 $N$  – кількість верстатів, що обробляють вироби, шт.;  
 $\tau$  – кількість годин 1 зміни, год.

7. Визначаємо масу пилу берези, що виділяється 5 верстатами між генеральними прибираннями пилу, за формулою:

$$M_1 = M_2 \cdot N_{\text{змін}} = 184,32 \cdot 22 = 4055,04 \text{ кг,}$$

де  $M_2$  – маса пилу, що виділяється верстатами за 1 зміну між поточними прибираннями, кг;

$N$  – кількість змін (за місяць) між генеральними прибираннями. Приймаємо 22 зміни, виходячи з того, що за 1 тиждень – 5 змін.

8. Визначаємо масу пилу, що осідає між генеральними прибираннями на важкодоступних місцях, за формулою:

$$m_1 = M_1 \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_1 = 4055,04 \cdot (1 - 0,75) \cdot 0,7 = 709,635 \text{ кг,}$$

$\alpha$  – частка пилу, що потрапляє до об'єму приміщення і видаляється витяжними вентиляційними системами. У нашому випадку ця частка становить  $0,75$ ;

$\beta_1$  – частка пилу, який потрапляє до об'єму приміщення та осідає на важкодоступних місцях між генеральними прибираннями. Приймаємо рівною  $0,7$ .

9. Визначаємо масу пилу, що осідає між прибираннями на легкодоступних місцях, за формулою:

$$m_2 = M_2 \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_2 = 184,32 \cdot (1 - 0,75) \cdot 0,3 = 13,824 \text{ кг,}$$

де  $\beta_2$  – частка пилу, який потрапляє до об'єму приміщення та осідає на легкодоступних місцях між прибираннями. Приймаємо рівною  $0,3$ .

10. Визначаємо масу пилу, що відкладається у приміщенні до аварії, за формулою (4.24):

$$m_{\text{п}} = K_{\text{Г}} \cdot (1 - K_{\text{пр}}) \cdot (m_1 + m_2) = 1 \cdot (1 - 0,6) \cdot (709,635 + 13,824) = 289,38 \text{ кг}$$

де  $K_{\text{Г}}$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу. Приймаємо рівною 1;

$K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт ефективності прибирання пилу, який приймається у разі прибирання пилу вручну: у разі сухого прибирання - 0,6.

11. Визначаємо масу відкладеного пилу, що перейде у завислий стан (стан аерозолі) під час аварії, за формулою (4.21):

$$m_{\text{зв}} = K_{\text{зв}} \cdot m_{\text{п}} = 0,9 \cdot 289,38 = 260,45 \text{ кг},$$

де  $K_{\text{зв}}$  – частка пилу, що відклався у приміщенні і здатний перейти у стан аерозолі в результаті аварійної ситуації. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{\text{зв}}$ , допускається приймати  $K_{\text{зв}} = 0,9$ ;

$m_{\text{п}}$  – маса пилу, що відклалась у приміщенні до моменту аварії, кг.

12. Визначаємо масу пилу, що виділяється з обладнання при аварійній ситуації. Враховуючи те, що в якості розрахункового варіанта аварії приймається вибух пилу, який накопичується на ділянці шліфування протягом місяця, визначимо масу пилу, що накопичується у приміщенні в результаті роботи 5 верстатів протягом 300 с (до ввімкнення аварійної витяжної вентиляції), за формулою:

$$m_{\text{ав}} = q_{\text{в}} \cdot \tau = \frac{m_{\text{п}} \cdot N}{3600} \cdot (1 - \alpha) \cdot \tau = \frac{4,608 \cdot 5}{3600} \cdot (1 - 0,75) \cdot 300 = 0,12 \text{ кг},$$

де  $q_{\text{в}}$  – продуктивність, з якою продовжує надходити горючий пил до приміщення при роботі 5 верстатів,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau$  – час, протягом якого надходить пил до ввімкнення аварійної вентиляції, с;

$m_{\text{п}}$  – маса горючого пилу, що виділяється при роботі 1-го верстата, кг;

$N$  – кількість верстатів, шт;

$\alpha$  – частка пилу, що потрапляє до об'єму приміщення і видаляється витяжними вентиляційними системами. У нашому випадку ця частка становить 0,75;

13. Визначаємо загальну масу пилу деревини, що приймає участь в утворенні вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей:

$$m = m_{зв} + m_{ав} = 60,45 + 0,12 = 260,57 \text{ кг} .$$

14. Визначаємо надлишковий тиск вибуху пилу деревини на ділянці шліфування за формулою (4.5):

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_o \cdot Z}{V_{вільн} \cdot \rho_{п} \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_H} = \frac{260,57 \cdot 1,67 \cdot 10^7 \cdot 101 \cdot 0,5}{2400 \cdot 1,206 \cdot 1010 \cdot 293 \cdot 3} = 85,5 \text{ кПа} .$$

Таким чином, приміщення ділянки шліфування меблевого виробництва відноситься до категорії Б за вибухопожежною небезпекою.

### **Приміщення із твердими горючими і важкогорючими речовинами і матеріалами**

**Задача 1.** Визначити категорію приміщення складської будівлі. Складська будівля являє собою багатостележний склад, в якому передбачено зберігання на металевих стелажах негорючих матеріалів у картонних коробках. У кожному з десяти рядів стележів міститься 10 ярусів, 16 відсіків, в яких зберігаються по 3 картонні коробки вагою 1 кг кожна. Верхня відмітка зберігання картонної тари на стелажах складає 5 м, а висота нижнього поясу до відмітки підлоги – 7,2 м. Довжина стележу – 48 м, ширина – 1,2 м, відстань між рядами стележів – 2,8 м.

Відповідно до вихідних даних площа розташування пожежної навантаги у кожному ряду становить 57,6 м<sup>2</sup>.

#### **Розв'язання:**

1. Визначимо повну кількість горючого матеріалу (картону) в кожному ряду стележів, виходячи з того, що в кожному ряду знаходиться 10 ярусів, на яких – по 16 відсіків, в яких зберігається по три коробки вагою 1 кг кожна:

$$G = 10 \cdot 16 \cdot 3 \cdot 1 = 480 \text{ кг} .$$

2. Визначаємо пожежну навантагу (Q) та питому пожежну навантагу (q) за формулами (4.27) та (4.28):

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^P = 480 \cdot 13,4 = 6432 \text{ МДж} .$$

де  $G_i$  – кількість і-го матеріалу з пожежної навантаги, кг;

$Q_i^P$  – нижча теплота згоряння і-го матеріалу з пожежної навантаги, МДж/кг. Нижча теплота згоряння для картону становить 13,4 МДж/кг (табл. 25 додатка):

$$g = \frac{Q}{F_{\text{пн}}} = \frac{6432}{57,6} = 111,7 \text{ МДж/м}^2,$$

де  $Q$  – пожежна навантага, МДж;

$F_{\text{пн}}$  – площа розміщення матеріалів пожежної навантаги,  $\text{м}^2$  (не менш ніж  $10 \text{ м}^2$ ).

Таким чином, за цим значенням питомої пожежної навантаги, що не перевищує  $180 \text{ МДж/м}^2$ , складське приміщення можна віднести до категорії Д.

3. Перевіримо, чи можна віднести приміщення складу до категорії Д, враховуючи вимоги [5], за яким у приміщеннях категорії Д відстань між ділянками із твердими горючими та важкогорючими матеріалами пожежної навантаги повинна бути не менше значень, наведених в табл. 4.4. та 4 [5].

Значення мінімальної граничної відстані між ділянками з твердими горючими та важкогорючими матеріалами пожежної навантаги складського приміщення приймається більше  $12 \text{ м}$  згідно вимог [5].

Оскільки відстань між рядами стелажів становить  $2,8 \text{ м}$ , що значно менше  $12 \text{ м}$ , приміщення складської будівлі відноситься до категорії В.

### **Приміщення з речовинами і матеріалами, здатними вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним**

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху для речовин і/або матеріалів, здатних вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, визначають за формулою 4.5, приймаючи, що  $Z=1$ , і розуміючи під величиною  $H_T$  енергію, яка виділяється під час взаємодії вищезазначених речовин (з урахуванням того, що процес їх взаємодії проходить до кінця, тобто до утворення кінцевих продуктів), або експериментально під час натурних випробувань. Якщо визначити величину надлишкового тиску вибуху неможливо, слід приймати її більшою за  $5 \text{ кПа}$ .

**Задача 1.** Визначити категорію приміщення складу зберігання лужних металів у контейнерах. У контейнері зберігається натрій у кількості  $3 \text{ кг}$ . Вільний об'єм приміщення –  $120 \text{ м}^3$ . Температура у приміщенні  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вентиляція відсутня.

#### **Розв'язання:**

1. Як аварію розглядаємо ситуацію розгерметизації контейнера з натрієм із наступним контактуванням його з водою, внаслідок чого сталася хімічна реакція з виділенням великої кількості тепла та водню з наступним його вибухом. Унаслідок взаємодії  $3 \text{ кг}$  натрію з водою виділя-

ється 0,094 кг водню. Густина водню – 0,0831 кг/м<sup>3</sup>; максимальний тиск вибуху водню – 730 кПа.

2. Визначаємо стехіометричну концентрацію водню у реакції горіння за формулою (4.4):

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 0,5} = 29,24 \% \text{ об.},$$

де 
$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 0 + \frac{2 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 0,5.$$

3. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху у приміщенні складу лужних металів за формулою (4.2):

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

$$(730 - 101) \frac{0,094 \cdot 1}{120 \cdot 0,0831} \cdot \frac{100}{29,24} \cdot \frac{1}{3} = 6,74 \text{ кПа.}$$

Таким чином, приміщення складу лужних металів відноситься до категорії А за вибухопожежною небезпекою.

### **Приміщення з наявністю горючих газів, легкозаймистих і горючих рідин, горючого пилу**

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху для складних вибухонебезпечних сумішей, які містять горючий газ, легкозаймисті та горючі рідини, горючий пил, визначають за формулою (4.7):

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2,$$

де  $\Delta P_1$  – тиск вибуху, що розраховується для ГГ, ЛЗР та ГР за формулою (4.2);

$\Delta P_2$  – тиск вибуху, що розраховується для горючого пилу за формулою (4.5).

**Задача 1.** Визначити категорію приміщення фарбувального цеху тракторно-складального корпусу об'ємом 112266,07 м<sup>3</sup>, в якому здійснюється фарбування та сушка тракторів. Фарбування виконується у фарбувальних камерах, надлишок фарби з яких змивається водою до коагуляційного басейну з поверхнею випаровування площею 226,84 м<sup>2</sup> і відводиться по трубопроводу за межі приміщення на утилізацію. В якості



розчинника фарби використовують сольвент. Сушка виробів здійснюється у сушильних камерах, де як паливо застосовують природний газ (метан), який надходить до теплогенераторів по трубопроводу діаметром 0,219 м, довжиною 1152 м, і під тиском 178,4 кПа. Температура у тракторно-складальному корпусі становить 20 °С, у фарбувальному цеху – 39 °С, у сушильній камері – 80 °С. Повітрообмін – 0 год<sup>-1</sup>.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, що обертаються у виробничому приміщенні.

Метан (CH<sub>4</sub>). Молекулярна маса – 16,04 кг/кмоль. Нижня концентраційна межа поширення полум'я – 5,28 % (об.). Максимальний тиск вибуху – 706 кПа.

Сольвент (C<sub>8,5</sub>H<sub>11</sub>). Молекулярна маса – 113,2 кг/кмоль. Температура спалаху – 21 °С. Нижня концентраційна межа поширення полум'я – 1,0 % (об.). Максимальний тиск вибуху – 900 кПа.

2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії

При визначенні надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант аварії приймається розгерметизація трубопроводу, по якому транспортують природний газ до теплогенераторів при працюючому конвеєрі (за 300 с при розгерметизації трубопроводу виходить 107,97 кг метану) і випаровування сольвенту з коагуляційного басейну в кількості 26,0658 кг (час випаровування – 3600 с) та зі свіжопофарбованих поверхонь виробів у кількості 74,836 кг (час випаровування – 3600 с).

3. Визначаємо густину метану та парів сольвенту за робочих температур 39 °С і 80 °С за формулою (4.3):

– метан:

$$\rho_{\text{CH}_4} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{16,04}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 39)} = 0,6260 \text{ кг/м}^3;$$

– сольвент за робочої температури 39 °С:

$$\rho_{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{113,2}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 39)} = 4,4182 \text{ кг/м}^3;$$

– сольвент за робочої температури 80 °С:

$$\rho_{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{113,2}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 80)} = 3,9043 \text{ кг/м}^3.$$

4. Розраховуємо вільний об'єм приміщення фарбувального цеху:

$$V_{\text{вільн}} = 0,8 \cdot l \cdot b \cdot h = 0,8 \cdot 112266,07 = 89813 \text{ м}^3.$$

5. Визначаємо стехіометричну концентрацію метану та сольвенту в реакції горіння за формулою (4.4):

$$C_{\text{ст}}^{\text{CH}_4} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 2} = 9,36\% \text{ об.},$$

де 
$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 1 + \frac{4 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 2,0;$$

$$C_{\text{ст}}^{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 11,25} = 1,80\% \text{ об.},$$

де 
$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2} = 8,5 + \frac{11 - 0}{4} - \frac{0}{2} = 11,25.$$

6. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta P = & (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m_{\text{CH}_4} \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{CH}_4}} \cdot \frac{100}{C_{\text{стCH}_4}} \cdot \frac{1}{K_n} + \\ & (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m_{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}}^{\text{бас}} \cdot Z \cdot 100}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}}^{39^\circ\text{C}} \cdot C_{\text{стC}_{8,5}\text{H}} \cdot K_n} + \\ & + (P_{\text{max}} - P_0) \cdot \frac{m_{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}}^{\text{св.пофарб}} \cdot Z \cdot 100}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{C}_{8,5}\text{H}_{11}}^{80^\circ} \cdot C_{\text{стC}_{8,5}\text{H}_{11}} \cdot K_n} = \\ & (706 - 101) \cdot \frac{107,97 \cdot 0,5 \cdot 100}{89813 \cdot 0,6260 \cdot 9,36 \cdot 3} + \\ & + (900 - 101) \cdot \frac{26,0658 \cdot 0,3 \cdot 100}{89813 \cdot 4,4182 \cdot 1,80 \cdot 3} \\ & + (900 - 101) \cdot \frac{74,836 \cdot 0,3 \cdot 100}{89813 \cdot 3,9043 \cdot 1,80 \cdot 3} = 3,3 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Таким чином, приміщення фарбувального цеху тракторно-складального корпусу відноситься до категорії В за пожежною безпекою.

## **4.2 Визначення категорій будинків та протипожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною безпекою**

### **4.2.1 Теоретична частина**

В окремих випадках за вибухопожежною і пожежною безпекою категоруються не весь будинок, а його протипожежні відсіки, які є частинами будинку та відокремлені від інших частин протипожежними стінами 1 типу та/або протипожежними перекриттями 1 типу [5].

Нижче наведені визначення категорій будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною безпекою.

1. Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії А, якщо в ньому сумарний об'єм приміщень категорії А перевищує 5 % загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

2. Будинок або протипожежний відсік відносять до категорії Б, якщо одночасно виконуються дві умови:

- будинок або протипожежний відсік не відноситься до категорії А;
- сумарний об'єм приміщень категорій А і Б перевищує 5 % загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

3. 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 А, Б і В перевищує 5 % (10 %, якщо в будинку або протипожежному відсіку відсутні приміщення категорій А і Б) загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

4. Будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії Г, якщо одночасно виконуються дві умови:

- будинок або протипожежний відсік не відноситься до категорій А, Б або В;
- сумарний об'єм приміщень категорій А, Б, В і Г перевищує 5 % загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

5. Будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії Д, якщо він не відноситься до категорій А, Б, В або Г.

### **4.2.2 Типові приклади визначення категорій будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною безпекою**

**Задача 1.** Визначити категорію виробничої чотириповерхової будівлі загальним об'ємом приміщень  $8000 \text{ м}^3$ . У будівлі знаходяться приміщення категорії А із сумарним об'ємом  $400 \text{ м}^3$ .

***Розв'язання:***

Перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорії А від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 5 %.

Отже, будівля відноситься до категорії А, оскільки сумарний об'єм приміщень із категорією А становить 5 % від загального об'єму будівлі.

**Задача 2.** Визначити категорію виробничої триповерхової будівлі загальним об'ємом  $20000 \text{ м}^3$ , в якій знаходяться приміщення категорії А сумарним об'ємом  $200 \text{ м}^3$  і приміщення категорії Б сумарним об'ємом  $2000 \text{ м}^3$ .

***Розв'язання:***

1. Спочатку перевіримо, чи відноситься будівля до категорії А. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорії А від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 1 %. Отже, будівля не відноситься до категорії А.

2. Визначаємо, чи відноситься будівля до категорії Б. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорій А та Б від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 11 %.

Отже, будівля відноситься до категорії Б.

**Задача 3.** Визначити категорію виробничої шестиповерхової будівлі загальним об'ємом  $3200 \text{ м}^3$ . Сумарний об'єм приміщень категорії А становить  $150 \text{ м}^3$ ; сумарний об'єм приміщень категорії Б –  $400 \text{ м}^3$ .

***Розв'язання:***

1. Спочатку перевіримо, чи відноситься будівля до категорії А. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорії А від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 4,7 %. Отже, будівля не відноситься до категорії А.

2. Визначаємо, чи відноситься будівля до категорії Б. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорій А та Б від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 17,19 %.

Отже, будівля відноситься до категорії Б.

**Задача 4.** Визначити категорію виробничої будівлі загальним об'ємом  $12000 \text{ м}^3$ . Сумарний об'єм приміщень категорій А та Б становить  $180 \text{ м}^3$ , категорії В –  $5000 \text{ м}^3$ .

***Розв'язання:***

1. Спочатку перевіримо, чи відноситься будівля до категорій А та Б. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорій А та Б від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 1,5 %. Отже, будівля не відноситься до категорій А та Б.

2. Визначаємо, чи відноситься будівля до категорії В. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорій А, Б та В від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 43,16 %.

Отже, будівля відноситься до категорії В.

**Задача 5.** Визначити категорію виробничої будівлі загальним об'ємом  $30000 \text{ м}^3$ . Приміщення категорій А та Б у будівлі відсутні. Сумарний об'єм приміщень категорії В становить  $1800 \text{ м}^3$ , категорії Г –  $2000 \text{ м}^3$ .

**Розв'язання:**

1. Спочатку перевіримо, чи відноситься будівля до категорії В. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорії В від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 6 %. Отже, будівля не відноситься до категорії В, оскільки у будівлі відсутні приміщення категорій А та Б і сумарний об'єм приміщень категорії В не перевищує 10 % від загального об'єму будівлі.

2. Визначаємо, чи відноситься будівля до категорії Г. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорій В та Г від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 12,66 %.

Отже, будівля відноситься до категорії Г.

**Задача 6.** Визначити категорію виробничої одноповерхової будівлі загальним об'ємом  $80000 \text{ м}^3$ . Сумарний об'єм приміщень категорій А та Б становить  $600 \text{ м}^3$ , категорії В –  $1000 \text{ м}^3$ , категорії Г –  $200 \text{ м}^3$ .

**Розв'язання:**

1. Спочатку перевіримо, чи відноситься будівля до категорій А та Б. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорій А та Б від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 0,75 %. Отже, будівля не відноситься до категорій А та Б.

2. Далі перевіримо, чи відноситься будівля до категорії В. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорій А, Б та В від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 2 %.

Отже, будівля не відноситься до категорії В, оскільки сумарний об'єм приміщень категорій А, Б, В не перевищує 5 % від загального об'єму будівлі.

Визначаємо, чи відноситься будівля до категорії Г. Для цього перевіримо, який відсоток становить сумарний об'єм приміщень категорій А, Б, В та Г від загального об'єму будівлі. За розрахунками – 2,25 %. Отже, будівля не відноситься до категорії Г.

Таким чином, будівля відноситься до категорії Д.

### **4.3 Визначення категорій зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою**

#### **4.3.1 Теоретична частина**

*Зовнішня установка* – установка, апарати і устаткування якої розміщені зовні будинку на одному технологічному майданчику і пов'язані між собою єдиним технологічним процесом виробництва, транспорту-

вання та переробки продукції та яка призначена, 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 [5].

Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою приймають відповідно до табл. 6 [5].

Визначення категорій зовнішніх установок слід здійснювати шляхом послідовної перевірки їхньої належності до категорій, наведених у табл. 6 [5], – від вищої ( $A_3$ ) до нижчої ( $D_3$ ). У табл. 6 [5] одними з критеріїв, за якими зовнішня установка відноситься до певної категорії, є горизонтальний розмір зони (відстань від апарата (установки) до межі зони), що обмежує газопароповітряні суміші з концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{НКМП}$ ), розрахунковий надлишковий тиск у разі загоряння газо-, паро- або пилоповітряної суміші та інтенсивність теплового випромінювання від осередку пожежі.

Під час розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішніх установок як розрахунковий варіант слід обирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, за якого у вибуху і/або горінні бере участь найбільша кількість найбільш небезпечних речовин і/або матеріалів, що містяться в одному апараті (установці).

Кількість речовин, які потрапили до навколишнього простору і які можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, визначається, виходячи з наступних передумов:

- а) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів згідно з [5];
- б) весь вміст апарата надходить до навколишнього простору;
- в) відбувається одночасно витік речовин із трубопроводів, які живлять апарат за прямим та зворотним потоками, протягом проміжку часу, необхідного 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 спрацьовування (приведення в дію) системи автоматики відключення (перекривання) трубопроводів – згідно з паспортними даними установки, якщо ймовірність відмови системи автоматики не перевищує  $10^{-6}$  на рік або забезпечується резервування її елементів;

- 120 с, якщо ймовірність відмови системи автоматики перевищує  $10^{-6}$  на рік та 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.

Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подавання газу (рідини) у випадку порушення електрозабезпечення або при спрацьовуванні автоматичної пожежної сигналізації;

г) відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася; площа випаровування при розливі на горизонтальну поверхню визначається (за відсутності довідкових або експериментальних даних), виходячи з розрахунку, що 1 л сумішей і розчинів, які містять 70 % і менше (за масою) розчинників, розливається на площі  $0,1 \text{ м}^2$ , а інших рідин – на  $0,15 \text{ м}^2$ ;

д) відбувається також випаровування рідин із поверхонь відкритих ємностей технологічного обладнання та з поверхонь, на які за технологічним процесом нанесена горюча рідина, що на час аварії знаходиться у стадії висихання;

є) тривалість випаровування рідини приймається рівною часу її повного випаровування, але не більше 3600 с.

### **Розрахунок маси горючих речовин, що надходять до навколишнього простору при розрахунковій аварії**

#### **Зовнішні установки з горючими газами**

Масу горючого газу, що потрапив до навколишнього простору під час розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m = (V_a + V_T) \cdot \rho_T, \quad (4.32)$$

де  $V_a$  – об'єм газу, що вийшов з апарата,  $\text{м}^3$ ;

$V_T$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводів,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_T$  – густина газу,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

При цьому

$$V_a = \frac{P_i}{P_0} \cdot V = 0,01 \cdot P_i \cdot V, \quad (4.33)$$

де  $P_i$  – тиск газу в апараті, кПа;

$V$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (4.34)$$

де  $V_{1T}$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводів до їх перекривання,  $m^3$ ; визначають за формулою 4.11;

$V_{2T}$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводів після їх перекривання,  $m^3$ ; визначають за формулою 4.12.

### **Зовнішні установки з легкозаймистими та горючими рідинами**

Масу парів ЛЗР та ГР, які потрапили до навколишнього простору за наявності декількох джерел випаровування (поверхня розлитої рідини, свіжопофарбована поверхня, відкриті ємності тощо), визначають за формулою:

$$m_{\Pi} = m_p + m_{\text{емн}} + m_{\text{св}} + m_{\text{пер}}, \quad (4.35)$$

де  $m_p$  – маса рідини, що випарувалася з поверхні розливу, кг;

$m_{\text{емн}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь відкритих ємностей, кг;

$m_{\text{св}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь із свіжонанесеною горючою рідиною, що на час аварії знаходяться у стадії висихання, кг;

$m_{\text{пер}}$  – маса рідини, що випарувалася до навколишнього простору в разі її перегрівання, кг.

За цих умов кожен зі складових ( $m_p, m_{\text{емн}}, m_{\text{св}}$ ) у формулі (4.35) визначають за формулами 4.13 – 4.16.

Величину  $m_{\text{пер}}$  визначають при  $T_a > T_{\text{кип}}$  за формулою:

$$m_{\text{пер}} = \min \left\{ 0,8m_{\Pi}; \frac{C_p \cdot (T_a - T_{\text{кип}})}{L_{\text{вип}}} \cdot m_{\text{прг}} \right\}, \quad (4.36)$$

де  $m_{\text{прг}}$  – маса перегрітої рідини, що вийшла назовні, кг;

$C_p$  – питома теплоємність рідини за температури перегрівання рідини  $T_a$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$T_a$  – температура перегрітої рідини відповідно до технологічного регламенту в технологічному апараті, К;

$T_{\text{кип}}$  – нормальна температура кипіння рідини, К;

$L_{\text{вип}}$  – питома теплота випаровування рідини за температури перегрівання рідини  $T_a$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Якщо розрахункова аварія пов'язана з можливим надходженням рідини у розпиленому стані, то це має бути враховано у формулі (4.35) шляхом введення додаткового доданка, який враховує загальну масу рідини, що надійшла від розпилювальних пристроїв, виходячи з тривалості їхньої роботи.



Інтенсивність випаровування  $W$  визначають за довідковими або експериментальними даними. Для ЛЗР, не нагрітих вище температури навколишнього середовища, у разі відсутності даних, допускається розраховувати  $W$  за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot (M)^{\frac{1}{2}} \cdot P_n, \quad (4.37)$$

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

$P_n$  – тиск насиченої пари,  $\text{кПа}$ , за розрахункової температури рідини, визначений за довідковими даними або за формулою (4.16).

Масу парів рідини, що нагріта вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння рідини, визначають за формулою 4.18.

Для зріджених вуглеводневих газів (ЗВГ), у разі відсутності даних, допускається розраховувати питому масу ЗВГ, що випарувався із проливу, за формулою:

$$m_{\text{ЗВГ}} = \frac{M}{L_{\text{вип}}} \cdot (T_o - T_{\text{ЗВГ}}) \cdot (2 \cdot \lambda_{\text{ТМ}} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi \cdot \alpha}} + \frac{5,1 \cdot \sqrt{\text{Re}} \cdot \lambda_{\text{П}} \cdot \tau}{d}), \quad (4.38)$$

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

$L_{\text{вип}}$  – мольна теплота випаровування ЗВГ за початкової температури ЗВГ  $T_{\text{ЗВГ}}$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$ ;

$T_o$  – початкова температура матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{К}$ ;

$T_{\text{ЗВГ}}$  – початкова температура ЗВГ,  $\text{К}$ ;

$\lambda_{\text{ТМ}}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;

$\alpha = \frac{\lambda_{\text{ТМ}}}{C_{\text{ТМ}} \cdot \rho_{\text{ТМ}}}$  – коефіцієнт температуропроводності матеріалу, на

поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$C_{\text{ТМ}}$  – теплоємність матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;

$\rho_{\text{ТМ}}$  – густина матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$\tau$  – час,  $\text{с}$ , який приймається рівним часу повного випаровування ЗВГ, але не більше 3600  $\text{с}$ ;

$\text{Re} = \frac{U \cdot d}{\nu_{\text{П}}}$  – число Рейнольдса;

$U$  – швидкість повітряного потоку,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_B}{\pi}}$  – характерний розмір розливу ЗВГ, м;

$\nu_{\text{п}}$  – кінематична в'язкість повітря,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ , табл. 16;

$\lambda_{\text{п}}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ , табл. 16.

Формула (4.38) є справедливою для ЗВГ з температурою  $T_{\text{ЗВГ}} \leq T_{\text{кип}}$ . За температури ЗВГ  $T_{\text{ЗВГ}} > T_{\text{кип}}$  додатково розраховується маса перегрітих ЗВГ за формулою (4.36).

### **Зовнішні установки з горючим пилом**

Кількість речовин, які вийшли з установки і можуть утворювати горючі пилоповітряні суміші, визначають, виходячи з того, що на момент розрахункової аварії сталася планова (ремонтні роботи) або раптова розгерметизація одного з технологічних апаратів, за якої відбувся аварійний викид до навколишнього середовища пилу, який знаходився в апараті.

Розрахункову масу горючого пилу, що надійшов до навколишнього простору в разі розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, визначають за формулою:

$$m_{\text{гп}} = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{\text{зв}} + m_{\text{ав}} \\ \rho_{\text{ст}} V_{\text{ав}} / Z \end{array} \right. , \quad (4.39)$$

де  $m_{\text{зв}}$  – розрахункова маса частини відкладеного поблизу апарата (відстань від апарата визначається дослідним шляхом) горючого пилу, що перейшов у стан аерозолі, кг;

$m_{\text{ав}}$  – розрахункова маса горючого пилу, що потрапив до навколишнього простору з апарата внаслідок розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, кг;

$\rho_{\text{ст}}$  – стехіометрична концентрація горючого пилу в аерозолі,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$V_{\text{ав}}$  – розрахунковий об'єм пилоповітряної хмари, що утворюється при аварійній ситуації у навколишньому просторі,  $\text{м}^3$ ;

$Z$  – коефіцієнт участі пилу у завислому стані (стані аерозолі) у вибуху, який розраховують за формулою (4.6).

За відсутності можливості отримати дані для розрахунку  $V_{\text{ав}}$  допускається приймати:

$$m_{\text{гп}} = m_{\text{зв}} \cdot m_{\text{ав}} \quad (4.40)$$

Розрахункову масу частини відкладеного поблизу апарата горючого пилу, що перейшов у стан аерозолі ( $m_{\text{зв}}$ ), визначають за формулою:

$$m_{зв} = K_{г} \cdot K_{вп} \cdot m_{пв}, \quad (4.41)$$

де  $K_{г}$  – частка горючого пилу у загальній масі відкладень пилу;  
 $K_{вп}$  – частка пилу, що відклався поблизу апарата, здатного перейти у стан аерозолу внаслідок розрахункової аварії. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{вп}$  допускається приймати  $K_{вп} = 0,9$ ;  
 $m_{пв}$  – маса пилу, що відклався поблизу апарата до моменту розрахункової аварії, кг.

Розрахункову масу горючого пилу, що потрапив до навколишнього простору з апарата внаслідок розрахункової аварії ( $m_{ав}$ ) та перейшов у стан аерозолу, визначають за формулою:

$$m_{ав} = (m_{ап} + q \cdot \tau) \cdot K_{п}, \quad (4.42)$$

де  $m_{ап}$  – маса горючого пилу, що потрапив до навколишнього простору у разі розгерметизації технологічного апарата, кг; у разі відсутності інженерних пристроїв, які обмежують викид пилу, слід вважати, що у момент розрахункової аварії відбувається аварійний викид до навколишнього простору всього пилу, який знаходився в апараті;

$q$  – витрата, з якою продовжують надходити пилоподібні речовини до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau$  – розрахунковий час перекривання трубопроводів, с (визначається у кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки) слід приймати за пунктом 2. підрозділу 4.1.1;

$K_{п}$  – коефіцієнт пилення, що являє собою відношення маси пилу у стані аерозолу до усїєї маси пилу, який надійшов з апарата до навколишнього простору. У випадку відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{п}$ , допускається приймати:

- для пилу з дисперсністю не менш ніж 350 мкм –  $K_{п} = 0,5$ ;
- для пилу з дисперсністю менш ніж 350 мкм –  $K_{п} = 1,0$ .

За відсутності даних про масу горючого пилу і/або волокон, що потрапив до навколишнього простору внаслідок розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолу та масу відкладеного поблизу апарата горючого пилу і/або волокон, що не дає змоги провести розрахунки, слід приймати категорію зовнішньої установки – Б<sub>3</sub>.

Розрахунок горизонтальних розмірів зон, що обмежують газо-пароповітряні суміші з концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я, у разі аварійного потрапляння до навколишнього простору горючих газів і парів легкозаймистих рідин, не нагрітих вище температури навколишнього середовища

Горизонтальні розміри зони  $R_{\text{НКМП}}$ , м, які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я ( $C_{\text{НКМП}}$ ), розраховують за формулами [5]:

– для горючих газів (ГГ):

$$R_{\text{НКМП}} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} \cdot C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,333}; \quad (4.43)$$

– для парів легкозаймистих рідин, не нагрітих вище температури навколишнього середовища:

$$R_{\text{НКМП}} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left( \frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,813} \left( \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot P_{\text{н}}} \right)^{0,333}, \quad (4.44)$$

де  $m_{\text{Г}}$  – маса ГГ, що потрапила до навколишнього простору під час розрахункової аварії, кг;

$\rho_{\text{Г}}$  – густина ГГ за розрахункової температури та атмосферного тиску,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$m_{\text{п}}$  – маса парів ЛЗР, що потрапили до навколишнього простору за час повного випаровування, але не більше 3600 с, кг;

$\rho_{\text{п}}$  – густина парів ЛЗР за розрахункової температури й атмосферного тиску,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$P_{\text{н}}$  – тиск насичених парів ЛЗР за розрахункової температури, кПа;

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

$\tau$  – тривалість надходження парів ЛЗР до навколишнього простору, с;

$C_{\text{НКМП}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я ГГ або парів ЛЗР, % (об.);

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

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

$t_{\text{р}}$  – розрахункова температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

За розрахункову температуру слід приймати максимально можливу температуру повітря у відповідній кліматичній зоні або максимально можливу температуру повітря за технологічним регламентом з урахуванням можливого підвищення температури у разі розрахункової аварії. Якщо такого значення розрахункової температури  $t_{\text{р}}$  з будь-яких причин визначити не вдається, допускається приймати її рівною  $61^{\circ}\text{C}$ .

За початок відліку горизонтального розміру зони приймають зовнішні габаритні розміри апаратів, установок, трубопроводів тощо. У будь-яких випадках значення  $R_{\text{НКМП}}$  повинно бути не менше 0,3 м для ГГ та ЛЗР.

### **Визначення надлишкового тиску вибуху**

#### **Розрахунок надлишкового тиску вибуху у випадку згоряння сумішей горючих газів і/або парів ЛЗР та ГР з повітрям у навколишньому просторі**

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі займання газо-, пароповітряних сумішей, визначають за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot (0,8 m_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5m_{\text{пр}}/r^3), \quad (4.45)$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101,3 кПа);

$r$  – відстань від геометричного центру зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м;

$m_{\text{пр}}$  – приведена маса ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, кг, обчислюється за формулою:

$$m_{\text{пр}} = (Q_{\text{зг}}/Q_0) \cdot m \cdot Z, \quad (4.46)$$

де  $Q_{\text{зг}}$  – питома теплота згоряння ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$Z$  – коефіцієнт участі горючих газів і/або парів ЛЗР та ГР у горінні, який допускається приймати рівним 0,1;

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

$m$  – маса горючих газів і/або парів ЛЗР та ГР, які потрапили до навколишнього простору внаслідок розрахункової аварії, кг.

#### **Розрахунок надлишкового тиску вибуху у випадку займання горючого пилу**

Надлишковий тиск  $\Delta P$ , що розвивається у випадку займання горючого пилу, розраховується у такий спосіб:

а) визначають приведену масу горючого пилу  $m_{\text{пр}}$ , кг, за формулою:

$$m_{\text{пр}} = m \cdot Z \cdot H_{\text{T}}/H_{\text{T0}}, \quad (4.47)$$

де  $m$  – маса горючого пилу, який надійшов внаслідок розрахункової аварії до навколишнього простору, кг;

$Z$  – коефіцієнт участі пилу у вибуху і/або горінні, значення якого допускається приймати рівним 0,1. В окремих обґрунтованих випадках величина  $Z$  може бути знижена, але не менше ніж до 0,02;

$H_{\text{T}}$  – теплота згоряння пилу, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$H_{\text{T0}}$  – константа, яка приймається рівною  $4,6 \cdot 10^6$  Дж·кг<sup>-1</sup>;

б) визначають розрахунковий надлишковий тиск  $\Delta P$ , кПа, за формулою:

$$\Delta P = P_0 (0,8 m_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5m_{\text{пр}}/r^3), \quad (4.48)$$

де  $r$  – відстань від геометричного центру зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м;

$P_0$  – атмосферний тиск, кПа.

### **Метод розрахунку інтенсивності теплового випромінювання**

Інтенсивність теплового випромінювання розраховують для двох випадків пожежі (або для того з них, який може бути реалізований у даній технологічній установці) [5]:

– горіння розливів ЛЗР та ГР або твердих горючих матеріалів (включно з пилом);

– «вогняна куля» – великомасштабне дифузійне горіння, що відбувається у разі розриву резервуара з горючою рідиною або газом під тиском із займанням вмісту резервуара.

Якщо можлива реалізація обох варіантів, то під час оцінювання значень критеріїв за пожежною небезпекою враховується найбільше з двох значень інтенсивності теплового випромінювання.

Інтенсивність теплового випромінювання  $q$ , кВт·м<sup>-2</sup>, під час горіння розливів горючих рідин або твердих горючих матеріалів визначають за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi, \quad (4.49)$$

де  $E_f$  – середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, кВт·м<sup>-2</sup>;

$F_q$  – кутовий коефіцієнт опромінення;

$\psi$  – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Значення  $E_f$  приймається на основі наявних експериментальних даних. Для деяких видів рідкого вуглеводневого палива значення  $E_f$  наведені у табл. 4.5. У разі відсутності даних допускається приймати величину  $E_f$  рівною: 100 кВт·м<sup>-2</sup> – для ЗВГ; 40 кВт·м<sup>-2</sup> – для нафтопродуктів і твердих матеріалів.

Розраховують характерний розмір розливу рідини  $d$ , м, за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (4.50)$$

де  $F$  – площа розливу, м<sup>2</sup>.

Таблиця 4.5 – Середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я  $E_f$  залежно від діаметра ( $d$ ) осередку пожежі й питома масова швидкість вигорання  $M_v$  для деяких видів рідкого вуглеводневого палива

Паливо	$E_f, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$					$M_v, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
	$d=10 \text{ м}$	$d=20 \text{ м}$	$d=30 \text{ м}$	$d=40 \text{ м}$	$d=50 \text{ м}$	
ЗВГ (метан)	220	180	150	130	120	0,08
ЗВГ (пропан-бутан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельне паливо	40	32	25	21	18	0,04
Нафта	25	19	15	12	10	0,04

**Примітка.** Для діаметрів осередків пожежі менше 10 м або більше 50 м слід приймати величину  $E_f$  такою ж, як і для осередків пожежі діаметром 10 м і 50 м відповідно.

Визначають висоту полум'я  $H$ , м, за формулою:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{M_v}{\rho_{\text{п}} \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (4.51)$$

де  $M_v$  – питома масова швидкість вигорання палива,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\rho_{\text{п}}$  – густина навколишнього повітря,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$g = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$  – прискорення вільного падіння.

Визначають кутовий коефіцієнт опромінення  $F_q$  за формулами:

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2}, \quad (4.52)$$

де  $F_v, F_H$  – фактори опромінення для вертикальної й горизонтальної площадок відповідно, визначаються за формулами:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{S} \cdot \arctg \left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg \left( \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right\} \right]; \quad (4.53)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right) \right] \quad (4.54)$$

$$A=(h^2+S^2+1)/(2\cdot S); \quad (4.55)$$

$$B=(1+S^2)/(2\cdot S); \quad (4.56)$$

$$S=2r/d; \quad (4.57)$$

$$h=2H/d, \quad (4.58)$$

де  $r$  – відстань від геометричного центру розливу (від зовнішньої установки) до об'єкта, що опромінюється, м.

Визначають коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу за формулою:

$$\psi = \exp [-7,0\cdot 10^{-4}\cdot(r-0,5d)]. \quad (4.59)$$

Інтенсивність теплового випромінювання для «вогняної кулі»  $q$ , кВт·м<sup>-2</sup>, розраховують за формулою (4.48).

Величину  $E_f$  визначають на основі експериментальних даних. Допускається приймати величину  $E_f$  рівною 450 кВт·м<sup>-2</sup>.

Значення  $F_q$  розраховують за формулою:

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot \left[ (H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2 \right]^{1,5}}, \quad (4.60)$$

де  $H$  – висота центру «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 «вогняної кулі», м.

Ефективний діаметр «вогняної кулі»  $D_s$ , м, визначають за формулою:

$$D_s = 5,33m^{0,327}, \quad (4.61)$$

де  $m$  – маса горючої речовини, кг.

Значення  $H$  визначають у ході спеціальних досліджень. Допускається приймати величину  $H$  рівною  $D_s/2$ .

Проміжок часу існування «вогняної кулі»  $t_s$ , с, визначають за формулою:

$$t_s = 0,92m^{0,303}. \quad (4.62)$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу  $\psi$  розраховують за формулою:



$$\psi = \exp \left[ -7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2) \right]. \quad (4.63)$$

### 4.3.2 Типові приклади визначення категорій зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою

**Задача 1.** Визначити категорію зовнішньої установки, в якій знаходиться резервуар із метаном об'ємом  $20 \text{ м}^3$  з підвідним трубопроводом внутрішнього діаметру  $80 \text{ мм}$  і довжиною до засувки  $5 \text{ м}$  та відвідним трубопроводом внутрішнього діаметру  $80 \text{ мм}$  і довжиною до засувки  $3 \text{ м}$ . Тиск у системі –  $7 \text{ атм}$ . Продуктивність компресора –  $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ . Температура повітря і газу становить  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Відключення трубопроводів є автоматичним, забезпечено резервування елементів автоматики.

#### *Розв'язання:*

1. Визначаємо показники пожежної небезпеки речовин і матеріалів, що обертаються в установці.

Метан – горючий газ. Молекулярна маса становить  $16 \text{ кг/кмоль}$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я становить  $5,28 \%$  (об.). Максимальний тиск вибуху метану –  $720 \text{ кПа}$ . Теплота згоряння –  $50125 \text{ кДж/кг}$ .

2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії

При визначенні надлишкового тиску вибуху як розрахунковий варіант аварії приймається розгерметизація резервуара з метаном та вихід із нього і трубопроводів газу з утворенням газоповітряної пожежовибухонебезпечної суміші.

3. Визначаємо густину метану за розрахункової температури за формулою:

$$\rho_{\Gamma} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 t_p)} = \frac{16}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 30)} = 0,643 \text{ кг / м}^3,$$

де  $M$  – молекулярна маса метану,  $\text{кг/кмоль}$ .

4. Розрахунок маси метану, що надходить до навколишнього простору за розрахункової аварії, виконуємо за формулою (4.32):

$$m = (V_a + V_{\Gamma}) \cdot \rho_{\Gamma} = (141,4 + 0,884) 0,643 = 91,9 \text{ кг},$$

де  $V_a$  – об'єм газу, що вийшов з апарата, визначається за формулою:

$$V_a = \frac{P_1}{P_0} \cdot V = 0,01 \cdot P_1 \cdot V = 0,01 \cdot 707 \cdot 20 = 141,4 \text{ м}^3,$$

а об'єм газу, що надходить до навколишнього простору з трубопроводів, визначаємо за формулою:

$$V_T = V_{1T} + V_{2T} = 0,6 + 0,284 = 0,884 \text{ м}^3,$$

де  $V_{1T}$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводу до його перекривання за 3 с, становить:

$$V_{1T} = q \cdot \tau = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ м}^3,$$

а об'єм газу, що вийшов з трубопроводу після його перекривання, становить:

$$V_{2T} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot r_s^2 (L_1 + L_2) = 0,01 \cdot 3,14 \cdot 704 \cdot 0,04^2 \cdot (5 + 3) = 0,284 \text{ м}^3.$$

5. Визначаємо приведену масу горючого газу за формулою (4.46):

$$m_{\text{пр}} = (Q_{\text{зг}}/Q_0) \cdot m \cdot Z = (50125/4520) \cdot 91,9 \cdot 0,1 = 101,9 \text{ кг}.$$

6. Визначаємо надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від зовнішньої установки за формулою (4.45):

$$\Delta P = P_0 \cdot (0,8m_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5m_{\text{пр}}/r^3) = 101 \cdot (0,8 \cdot 101,9^{0,33}/30 + 3 \cdot 101,9^{0,66}/30^2 + 5 \cdot 101,9/30^3) = 21,3 \text{ кПа}.$$

7. Розраховуємо горизонтальний розмір зони, яка обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я, за формулою (4.43):

$$R_{\text{НКМП}} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{НКМП}}} \right)^{0,333} = 14,5632 \cdot \left( \frac{91,9}{0,643 \cdot 5,28} \right)^{0,333} = 43,6 \text{ м}.$$

Таким чином, зовнішня установка відноситься до категорії  $A_3$  за вибухопожежною і пожежною небезпекою.

**Задача 2.** Визначити, до якої категорії відноситься спиртосховище відкритого типу, яке має обвалування розмірами 4 х 5 м. Об'єм резервуара, в якому знаходиться технічний етиловий спирт, становить 2,1 м<sup>3</sup>. Ступінь заповнення резервуара – 95 %. Температура рідини 35 °С (середня температура у літній період).

### **Розв'язання:**

1. Визначаємо показники пожежної небезпеки етилового спирту, що знаходиться у резервуарі спиртосховища.

Етиловий спирт - легкозаймиста рідина. Молекулярна маса становить 46,07 кг/кмоль. Нижня концентраційна межа поширення полум'я становить 3,6 % (об.). Константи рівняння Антуана:  $A=7,81$ ;  $B=1918,51$ ;  $C_a=252,12$ . Теплота згоряння –  $30,56 \cdot 10^6$  Дж/кг.

2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії

Вихідною умовою при визначенні категорії зовнішньої установки – спиртосховища відкритого типу за вибухопожежною та пожежною небезпекою є аварійна ситуація, за якою виникає розгерметизація резервуара зі спиртом, розлив його в об'єм обвалування із площею розливу, що дорівнює площі обвалування, випаровування та утворення з повітрям пожежовибухонебезпечної суміші.

3. Визначаємо максимальну площу випаровування етилового спирту. Враховуючи те, що етиловий спирт розливається в об'єм обвалування розмірами 4 x 5 м, площа поверхні випаровування рідини дорівнює площі розливу:

$$F_B = S = 20 \text{ м}^2.$$

4. Визначаємо тиск насичених парів етилового спирту ( $P_H$ ) за розрахункової температури 35 °С:

$$P_H = 10^{\left( A - \frac{B}{t_p + C_a} \right)} = 10^{\left( 7,81 - \frac{1918,51}{35 + 252,12} \right)} = 13,46 \text{ кПа},$$

де  $P_s$  – тиск насиченої пари за розрахункової температури, Па;  
 $A, B, C_a$  – константи Антуана, що залежать від властивостей рідини, приймаються за довідником;

$t_p$  – розрахункова температура, °С.

5. Розраховуємо інтенсивність випаровування етилового спирту за формулою:

$$W_B = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H = 10^{-6} \cdot \sqrt{46,07} \cdot 13,46 = 91,26 \cdot 10^{-6} \text{ кг с}^{-1}\text{м}^{-2},$$

де  $M$  – молекулярна маса етанолу, кг/кмоль;

$P_H$  – тиск насиченої пари за розрахункової температури, Па.

6. Кількість парів етилового спирту, що випаровується з площі розливу за 1 годину, становить:

$$m_B = W_B \cdot F_B \cdot \tau_p = 91,26 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 3600 = 6,57 \text{ кг},$$

де  $W_B$  – інтенсивність випаровування етанолу,  $\text{кг с}^{-1}\text{м}^{-2}$ .

$\tau_p$  – час повного випаровування розлитої рідини з площі поверхні, приймається рівним 3600 с.

7. Обчислюємо приведену масу парів спирту за формулою (4.46):

$$m_{\text{пр}} = (Q_{\text{зр}}/Q_0) \cdot m \cdot Z = (30,56 \cdot 10^6 / 4,52 \cdot 10^6) \cdot 6,57 \cdot 0,1 = 4,4 \text{ кг}.$$

8. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від зовнішньої установки за формулою (4.45):

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_0 \cdot (0,8m_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5m_{\text{пр}}/r^3) = 101 \cdot \\ &\cdot (0,8 \cdot 4,4^{0,33}/30 + 3 \cdot 4,4^{0,66}/30^2 + 5 \cdot 4,4/30^3) = 5,39 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

9. Визначаємо густину парів спирту за розрахункової температури за формулою:

$$\rho_r = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{46,07}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 35)} = 1,82 \text{ кг/м}^3,$$

де  $M$  – молекулярна маса етилового спирту,  $\text{кг/кмоль}$ .

10. Виконаємо розрахунок горизонтальних розмірів зон, що обмежують пароповітряну суміш із концентрацією парів етилового спирту вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я. У даному випадку аварійне надходження горючих парів ЛЗР (спирту) до відкритого простору відбувається за температури, що не перевищує температуру навколишнього середовища.

$$\begin{aligned} R_{\text{НКМП}} &= 3,1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left( \frac{P_H}{C_{\text{НКМР}}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} \cdot P_H} \right)^{0,333} = \\ &= 3,1501 \cdot \sqrt{1} \cdot \left( \frac{13,46}{3,6} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{6,57}{1,82 \cdot 13,46} \right)^{0,333} = 5,9 \text{ м}. \end{aligned}$$

Отже, горизонтальний розмір зони, який обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я, не перевищує 30 м.

Таким чином, спиртосховище відкритого типу відноситься до категорії  $A_3$ , оскільки в ньому обертається легкозаймиста рідина з температурою спалаху не більше  $28\text{ }^\circ\text{C}$  і розрахунковий надлишковий тиск у разі згоряння пароповітряної суміші на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 5 кПа.

**Задача 3.** Визначити, до якої категорії за вибухопожежною і пожежною небезпекою відноситься зовнішня установка борошномельного виробництва - циклон. Об'єм циклона –  $5\text{ м}^3$ . Ступінь заповнення циклона – 0,8. Витрата борошна через витратний отвір до моменту його перекривання –  $5,6\text{ кг/с}$ . Радіус витратного отвору становить  $0,15\text{ м}$ . Циклон встановлений на висоті 3 м від поверхні ґрунту. У циклоні уловлюється пил борошна пшеничного. Температура повітря  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Розв'язання:**

1. Визначаємо показники пожежної небезпеки пилу борошна пшеничного, що уловлюється у циклоні.

Борошно пшеничне – горюча речовина. Густина -  $650\text{ г/м}^3$ . Нижня концентраційна межа поширення полум'я становить  $10\text{--}35\text{ г/м}^3$ . Максимальний тиск вибуху –  $520\text{ кПа}$ . Теплота згоряння –  $18000\text{ кДж/кг}$ .

2. Обґрунтування розрахункового варіанта аварії

Вихідною умовою при визначенні категорії зовнішньої установки за вибухопожежною та пожежною небезпекою є аварійний викид горючого пилу з викидного отвору через несправність перекидного клапана з наступним утворенням пилоповітряної вибухонебезпечної суміші.

3. Визначаємо масу горючого пилу, що виходить із циклона через несправність перекидного клапана, за формулою:

$$m_{ав} = q \cdot \tau \cdot K_{п} = 5,6 \cdot 300 \cdot 1 = 1680\text{ кг},$$

де  $q$  – витрата, з якою продовжується надходження пилоподібних речовин до навколишнього простору,  $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$ ;

$\tau$  – розрахунковий час перекидання трубопроводів, с; приймаємо 300 с у разі ручного перекидання;

$K_{п}$  – коефіцієнт запилення, який приймаємо рівним 1 для пилу з дисперсністю менше 350 мкм.

4. Визначаємо приведену масу горючого пилу за формулою (4.46):

$$m_{пр} = (Q_{зг}/Q_0) \cdot m \cdot Z = (18000/4520) \cdot 1680 \cdot 0,1 = 669\text{ кг}.$$

5. Розраховуємо надлишковий тиск вибуху на відстані 30 м від зовнішньої установки за формулою (4.45):

$$\Delta P = P_0 \cdot (0,8m_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5m_{\text{пр}}/r^3) = 101 \cdot (0,8 \cdot 669^{0,33}/30 + 3 \cdot 669^{0,66}/30^2 + 5 \cdot 669/30^3) = 60,18 \text{ кПа.}$$

Таким чином, зовнішня установка циклона відноситься до категорії Б<sub>з</sub>, бо в ній обертається горючий пил і розрахунковий надлишковий тиск вибуху пилоповітряної суміші на відстані понад 30 м від установки перевищує 5 кПа.

### Контрольні завдання

**Завдання 4.4.1.** Визначити категорію приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Характеристика виробничого приміщення, технологічного обладнання та горючих речовин і матеріалів, що в ньому обертаються, представлена в табл. 4.6 та 4.7.

Таблиця 4.6 – Вихідні дані до завдання 4.4.1

Значення параметрів	№ варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Характеристика приміщення										
l, м	10	48	8	16	24	18	12	22	36	20
b, м	8	9	6	14	12	16	10	14	12	18
h, м	4	6	3	5	7	6	5	4	10	8
K <sub>B</sub> , %	80	85	90	70	75	80	85	90	70	75
A <sub>B</sub> , год <sup>-1</sup>	8	5	4	6	7	9	8	6	10	8
T <sub>пов</sub> , °C	20	19	21	22	23	18	24	20	17	20

Таблиця 4.7 – Вихідні дані до завдання 4.4.1

Значення параметрів	№ варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Характеристика технологічного блоку										
Вид речовини	Бутан	Ацетилен	Водень	Метан	Пропан	Бензол	Гексан	Метанол	Толуол	Етанол
V <sub>АП</sub> , м <sup>3</sup>	10	8	6	4	12	0,2	2,1	0,4	1,4	5,8
P <sub>p</sub> , кгс см <sup>-2</sup>	2,4	3,0	4,1	3,2	2,6	-	-	-	-	-
ε	-	-	-	-	-	0,7	0,8	0,9	0,75	0,6
t <sub>p</sub> , °C	160	150	140	155	170	20	18	17	21	19
q, м <sup>3</sup> с <sup>-1</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	4·10 <sup>-3</sup>	6·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>	7·10 <sup>-3</sup>	1,24·10 <sup>-4</sup>	1,91·10 <sup>-4</sup>	1,67·10 <sup>-4</sup>	1,37·10 <sup>-4</sup>	1,51·10 <sup>-4</sup>
l <sub>n</sub> , м	0,4	0,7	0,6	0,5	0,8	3	1	4	3	2
d <sub>n</sub> , мм	70	90	80	60	50	40	35	45	30	50
l <sub>0</sub> , м	5	7	8	6	4	12	7	10	8	6
d <sub>0</sub> , мм	70	90	80	60	50	40	35	45	30	50
τ <sub>з</sub> , с	300	300	250	200	250	120	110	100	115	110

**Завдання 4.4.2.** Визначити категорію виробничого приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою. У виробничому приміщенні працює місцева витяжна вентиляція з ручною системою керування, яка вилучає до 65 % горючого пилю, що виділяється під час процесу. 70 % горючого пилю, що виділяється під час технологічного процесу, осідає на важкодоступних для прибирання місцях. Виробництво працює в одну 8-годинну зміну 5 днів на тиждень. Прибирання пилю у приміщенні ручне, сухе, 1 раз на добу. Генеральне прибирання здійснюється 1 раз на місяць.

Характеристика виробничого приміщення, технологічного обладнання та горючих речовин і матеріалів, що в ньому обертаються, представлена у табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Вихідні дані до завдання 4.4.2

Значення параметрів	№ варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Характеристика приміщення										
l, м	25	30	18	20	25	18	22	30	35	24
b, м	15	20	10	15	12	12	10	15	22	18
h, м	4	5	4	5	4	5	5	4	6	6
K <sub>B</sub> , %	80	85	90	70	75	80	85	90	70	75
Характеристика технологічного обладнання										
Вид речовини	Пил сосни	Пил берези	Пил дубу	Борошно пшеничне	Борошно травяне	Борошно кукурудзяне	Пил бавовни	Борошно ячменю	Житнє борошно	Целюлоза
m <sub>a</sub> , кг	10	20	30	45	32	25	18	40	35	25
дисперсність мкм	<350	<350	<350	<350	<350	>350	>350	>350	<350	<350
T <sub>пов</sub> , °C	20	19	21	22	23	18	24	20	17	25

**Завдання 4.4.3.** Визначити категорію приміщення виробничої лабораторії, в якій розташовані: шафа витяжна хімічна; стіл для аналітичних ваг; два стільці. Інших горючих матеріалів, окрім деревини, у лабораторії немає. Характеристика виробничої лабораторії та кількість горючого матеріалу, що в ній знаходиться, представлені в табл. 4.9.

**Завдання 4.4.4.** Визначити категорію будинку за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Характеристика виробничого будинку представлена в табл. 4.10.

Таблиця 4.9– Вихідні дані до завдання 4.4.3

Значення параметрів	№ варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Характеристика приміщення										
l, м	5	4	4	3	3	4	2	2	4	2
b, м	3	4	3	5	6	5	5	6	3	7
Загальна маса деревини, кг	49	40	47	52	60	70	46	55	51	54

Таблиця 4.10 – Вихідні дані до завдання 4.4.4

Значення параметрів	№ варіанта							
	1	2	3	4	5	6	7–8	9–10
Назва виробничої будівлі	Механозбиральний цех	Ацетиленова станція	Склад зберігання канатів	Котельна станція	Столярний цех	Млин виробництва борошна	Бавовнопрядильний цех	Гараж
Загальний об'єм, м <sup>3</sup>	3060	336	3394	1800	5000	12110	9888	3996
<b>1. Приміщення категорії А</b>								
Приміщення 1	кладова ЛЗР	генераторна	–	кладова ЛЗР	кладова ЛЗР	кладова ЛЗР	кладова ЛЗР	акумуляторна
Об'єм, м <sup>3</sup>	120	144	–	108	200	84	144	48
Приміщення 2	склад ацетону	–	–	–	–	–	–	акумуляторна
Об'єм, м <sup>3</sup>	144	–	–	–	–	–	–	160
<b>2. Приміщення категорії Б</b>								
Приміщення 1	склад ГЗМ	кладова ГЗМ	кладова ГЗМ	Кладова ГЗМ	кладова фарб	розмелювальне відділ.	–	кладова ГЗМ
Об'єм, м <sup>3</sup>	600	72	144	144	90	1960	–	240
Приміщення 2	мазутосховище	–	–	–	–	вибійне відділен.	–	кладова фарб
Об'єм, м <sup>3</sup>	720	–	–	–	–	3080	–	72
<b>3. Приміщення категорії В</b>								
Приміщення 1	кладова	лабораторія	сортувальний цех	лабораторія	деревообробка	зерноочисне відділ.	сортувальний цех	ремонтний бокс
Об'єм, м <sup>3</sup>	72	72	48	72	4000	560	2400	2400
Приміщення 2	хім.лабораторія	–	канатна	кладова	склад	трансп. відділен.	чесальне відділен.	столярна
Об'єм, м <sup>3</sup>	480	–	720	72	600	700	1200	720
Приміщення 3	–	–	канатна (велика)	–	–	склад зерна	ровнічний цех	лабораторія
Об'єм, м <sup>3</sup>	–	–	2400	–	–	5600	1800	96



## Продовження таблиці 4.10

Приміщення 4	–	–	–	–	–	–	прядильний цех	–
Об'єм, м <sup>3</sup>							1800	–
Значення параметрів	№ варіанта							
	1	2	3	4	5	6	7-8	9–10
<b>4. Приміщення категорії Г</b>								
Приміщення 1	зварювальний	–	–	котельня	–	–	–	–
Об'єм, м <sup>3</sup>	384	–	–	1260	–	–	–	–
<b>5. Приміщення категорії Д</b>								
Приміщення 1	кладова	кладова інструменту	інструментальна	кладова запчастин	кладова інструменту	пультова	кладова запчастин	кладова інструменту
Об'єм, м <sup>3</sup>	188	48	72	144	110	126	144	72
Приміщення 2	кладова інструмента	–	–	–	–	–	–	кладова тросів
Об'єм, м <sup>3</sup>	252	–	–	–	–	–	–	168

**Завдання 4.4.5.** Визначити категорію зовнішніх установок автозаправної станції (АЗС). На АЗС технологічний процес поділений на 3 технологічні блоки:

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

Характеристика зовнішніх установок, технологічного обладнання та горючих речовин і матеріалів, що в ньому обертаються, представлена в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Вихідні дані до завдання 4.4.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ технологічного блоку АЗС	Блок №1	Блок №2	Блок №3	Блок №1	Блок №2	Блок №3	Блок №1	Блок №2	Блок №3	Блок №1
Вид палива	Бензин А-76	Дизельне паливо марки 3	Бензин А-92	Дизельне паливо марки Л	Бензин А-95	Дизельне паливо марки 3	Бензин А-95	Бензин А-92	Дизельне паливо марки Л	Бензин А-92
Кількість палива, т	2,0	0,05	0,18	2,8	0,1	0,36	1,5	0,15	0,25	2,88
Температура, °С	20	25	30	18	15	20	17	22	21	40

Показники пожежовибухонебезпеки нафтопродуктів, що обертаються на АЗС, представлені в табл. 27 додатка.

## 5 ВИРОБНИЧІ ДЖЕРЕЛА ЗАПАЛЮВАННЯ

### 5.1 Теоретична частина

Джерела запалювання (ДЗ), що зустрічаються в умовах виробництва, є дуже різноманітними за причинами та місцями виникнення, за своєю природою, а також за своїми параметрами (запасом теплової енергії, тривалістю дії) та іншими ознаками.

За природою утворення джерела запалювання поділяються на: теплові прояви хімічної енергії, теплові прояви механічної енергії, теплові прояви електричної енергії; за запасом теплової енергії - на низькокалорійні та висококалорійні; за тривалістю дії - на постійно діючі та потенційно можливі.

Відповідно до «ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять» *джерелом запалювання* вважається об'єкт, який виділяє теплову енергію, достатню для запалювання.

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

1) температура джерела тепла ( $t_{д.т}$ ) повинна бути не нижче температури самоспалахування горючої речовини ( $t_{ссп}$ );

2) енергія джерела тепла ( $w_{д.т}$ ) повинна бути не менше мінімальної енергії запалювання горючого середовища ( $w_{min}$ );

3) тривалість дії джерела тепла ( $\tau_{д.т}$ ) повинна бути не менше періоду індукції ( $\tau_{інд}$ ).

Вказані вище умови появи джерела запалювання у горючому середовищі можна представити наступним чином:

$$t_{д.т} \geq t_{ссп}; \quad (5.1)$$

$$w_{д.т} \geq w_{min}; \quad (5.2)$$

$$\tau_{д.т} \geq \tau_{інд}. \quad (5.3)$$

Небезпека постійно діючого джерела теплової енергії, для якої є справедливим  $\tau_{д.т} \rightarrow \infty$ , оцінюється за умовами (5.1) та (5.2).

Запобігання утворенню горючої суміші (або внесенню до неї) джерела запалювання досягається при виконанні наступних умов вибухопожежобезпеки:

$$T_{\text{н.т.без}} \leq 0,8T_{\text{ссп}}, \quad (5.4)$$

де  $T_{\text{н.т.без}}$  – безпечна температура нагрітого тіла, К, або

$$W_{\text{н.т.без}} \leq 0,4 \cdot W_{\text{мін}}. \quad (5.5)$$

$W_{\text{н.т.без}}$  – безпечне значення енергії (кількості тепла) нагрітого тіла, Дж.

Підшипники перевантажених і швидкісних валів машин за різних порушень роботи (відсутність охолодження та мастил, перевантаження, перекося, надмірне затягування підшипників тощо) перегріваються до небезпечних температур, вищих за температуру самоспалахування ( $t_{\text{ссп}}$ ) горючої суміші, що контактує з підшипником, або за температуру самозаймання (тління) осілого на його корпусі горючого пилу.

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

$$t_{\text{п}} = t_{\text{пов}} + \frac{Q_{\text{тер}}}{\alpha \cdot F}, \quad (5.6)$$

де  $t_{\text{п}}$  – максимальна температура підшипника, °С;

$t_{\text{пов}}$  – температура навколишнього середовища (повітря), °С;

$F$  – площа поверхні корпусу підшипника, яка омивається повітрям, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коефіцієнт теплообміну між поверхнею підшипника та навколишнім середовищем, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$Q_{\text{тер}}$  – потужність сил тертя в підшипнику, Вт.

Величину потужності сил тертя визначають за формулою:

$$Q_{\text{тер}} = \pi \cdot f \cdot N \cdot d \cdot n, \quad (5.7)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя. Значення коефіцієнта тертя ковзання наведені в табл. 5.1;

$N$  – радіальна сила, яка діє на підшипник, Н;

$d$  – діаметр шийки вала, м;

$n$  – частота обертання вала, с<sup>-1</sup>;

Величину коефіцієнта теплообміну визначають за формулами:

$$\text{при } t_{\text{п}} > 60 \text{ °С} \quad \alpha = 11,63 \cdot \exp(0,0023 \cdot t_{\text{п}}), \quad (5.8)$$

$$\text{при } t_{\text{п}} \leq 60 \text{ °С} \quad \alpha = 4,07 \cdot \sqrt[3]{t_{\text{п}} - t_{\text{пов}}}. \quad (5.9)$$

Таблиця 5.1 – Показники коефіцієнта тертя (f)

Матеріал тіл, які підлягають тертю	Коефіцієнт тертя ковзання – f	
	насухо	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

За формулами (5.6) та (5.7) можна визначити також температуру нагрівання стрічки під час її пробуксовування і тягового барабана транспортера. У цьому випадку  $N$  – сила натягу стрічки, Н;  $d$  – діаметр барабана, м;  $F$  – площа поверхні барабана, м<sup>2</sup>.

Процес стиснення газу в компресорі супроводжується виділенням тепла і підвищенням температури газу та вузлів компресора. Максимальну температуру газу при стисненні у компресорі за відсутності охолодження визначають за формулою:

$$t_k = (t_n + 273) \cdot \left( \frac{P_k}{P_n} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 273, \quad (5.10)$$

де  $t_k$  та  $t_n$  – відповідно кінцева та початкова температура газу, °С;

$P_k$  та  $P_n$  – відповідно кінцевий та початковий тиск газу в компресорі, Па;

$n$  – показник політропи;  $n \approx 0,9$  к (к – показник адіабати, табл. 6 додатка).

Враховуючи умови безпечного режиму експлуатації компресора, ступінь стиснення газу та число ступенів стиснення визначають за формулами:

$$\varepsilon \leq \left( \frac{t_{p.без} + 273}{t_n + 273} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (5.11)$$

та

$$X \geq \frac{\lg P_k - \lg P_n}{\lg \varepsilon}, \quad (5.12)$$

де  $\varepsilon$  – допустимий ступінь стиснення газу в компресорі;

$t_{p.без}$  – безпечна температура газу в кінці стиснення, °С. Як  $t_{p.без}$  приймають мінімальне значення двох величин: температури, яку знаходять із виразу (5.4) за температури самоспалахування газу, що стискається, або допустимої температури мастила в картері компресора;

$X$  – число ступенів стиснення компресора.

Умови процесу теплового самозаймання деяких горючих речовин і матеріалів (рослинних олій, тваринних жирів, кам'яного та дерев'яного вугілля, торфу, сажі, оліфи, сіна, силосу, цинкового та магнієвого пилу тощо) визначають з наступних емпіричних виразів:

$$\lg t_c = A_p + n_p \cdot \lg S, \quad (5.13)$$

$$\lg \tau_c = \frac{1}{n_b} \cdot (A_b - \lg t_c),$$

де  $t_c$  – мінімальна температура середовища, за якої виникає самозаймання матеріалу, °С;

$A_p$ ,  $n_p$ ,  $A_b$ ,  $n_b$  – емпіричні константи, значення яких для деяких речовин наведені в табл. 18 додатка;

$S$  – питома площа поверхні матеріалу,  $m^{-1}$ .

Величину  $S$  визначають за формулою:

$$S = \frac{F}{V}, \quad (5.14)$$

де  $F$  – повна зовнішня площа поверхні матеріалу, яка контактує з навколишнім середовищем,  $m^2$ ;

$V$  – об'єм матеріалу,  $m^3$ ;

$\tau_c$  – тривалість процесу саморозігрівання матеріалу до його самозаймання, год.

Пожежна безпека виробництв, в яких обертаються схильні до теплового самозаймання речовини, досягається при виконанні наступної умови:

$$t_{p.без} \leq 0,8 \cdot t_c, \quad (5.15)$$

де  $t_{p.без}$  – безпечна температура середовища (виробничого процесу), °С;  
 $t_c$  – температура самозаймання  $i$ -ї горючої речовини, °С.

До потенційних джерел запалювання горючих сумішей, що утворюються під час аварій на сусідніх апаратах, відносяться печі та реактори з вогневим нагрівом, які характеризуються наявністю палива, що

згорає, високонагрітими теплообмінними поверхнями та розжареними конструктивними елементами топок.

Для запобігання проникненню до печей або інших апаратів вогневої дії горючих парогазоповітряних сумішей, використовуються *зовнішні парові завіси*. Парова завіса повинна мати достатню щільність і дальнобійність та виключати проскакування горючої суміші до зони об'єкта, який захищається. Виконання цих вимог досягається оптимальним улаштуванням конструкції парової завіси та її розрахунком.

Зовнішня парова завіса виконується у двох варіантах:

– безперервна огорожувальна – для захисту однієї, трьох або чотирьох сторін окремого апарата (блока печей);

– локальна флегматизуюча – для захисту на технологічній установці (печі) окремих елементів або зон, які у процесі функціонування нагріваються до небезпечних температур.

Безперервна огорожувальна завіса може бути одноярусною, якщо висота небезпечної зони до 10 м, та двоярусною, якщо висота небезпечної зони більше 10 м.

Для влаштування парової завіси вздовж небезпечної сторони (або небезпечних сторін) на рівні виробничої площадки між її межею та каркасом технологічної установки прокладається трубчастий колектор (перфорований трубопровід), вздовж осі якого по всій верхній частині є отвори однакового діаметра на рівній відстані один від одного. Колектор розташовують на металевих, бетонних чи цегляних опорах, висота яких повинна бути не менше 0,2 м. На ньому мають бути дренажні вентиля для спуску конденсату чи атмосферних опадів. Вздовж осі колектора влаштовують жорстке газонепроникне огороження (листи заліза або цегляну стіну) для запобігання проскакуванню горючої суміші між окремими струменями на початку завіси. Верхня крайка огороження повинна бути на 0,4–0,6 м вищою за колектор. Отвори в огороженнях мають бути постійно закритими щільними дверми. Траєкторія струменя завіси повинна перевищувати зону, що захищається. Для високих об'єктів завіса може мати декілька секцій у вертикальному положенні. Для забезпечення рівномірного розподілу пари по довжині колектора необхідно, щоб відношення сумарної площі отворів до площі поперечного перерізу колектора було меншим чи дорівнювало 0,3.

До основних розрахункових параметрів парової завіси відносяться:

- відстань від колектора до об'єкта, що захищається, м;
- діаметр та довжина колектора, м;
- діаметр отворів у колекторі, м;
- відстань між колектором та огороженням, м;
- висота завіси над зоною, що захищається, м.

Для розрахунку парової завіси приймають наступні вихідні дані:

- тиск (абсолютний) насиченої пари у колекторі завіси, Па;
- питомий об'єм пари у колекторі завіси, м<sup>3</sup>/кг;
- швидкість вітру (приймають рівною середній швидкості для найбільш вітряного періоду, який є характерним для даного географічного району), м/с;
- густина (температура) повітря (температуру повітря визначають за середньою температурою для найбільш холодного (зимового) періоду часу, який є характерним для даного географічного району);
- висота і периметр зони об'єкта, що захищається, м;
- висота верхньої крайки огороження над колектором, м;
- висота опори колектора, м.

Гідравлічний розрахунок підвідного паропроводу проводять за умови забезпечення максимальної потреби витрати пари на одну із двох основних систем захисту.

Порядок розрахунку парової завіси виконують після орієнтовного вибору значень тиску пари та діаметра отворів у колекторі за табл. 28 додатка. По вертикалі наведені значення тиску пари; по горизонталі - діаметри отворів, а на перетині горизонтальних і вертикальних строк - висоти парових завіс (висота зон, що захищаються) у метрах. Таблиця складена для швидкостей вітру 2, 3, 4 та 6 м/с. За великих швидкостей вітру вказані величини необхідно приймати, як і для 6 м/с.

Таблиця дає можливість оцінити необхідне значення тиску пари та відповідний йому діаметр отворів для забезпечення необхідної висоти завіси (висоти об'єкта, що захищається). Для одного і того ж тиску пари висота завіси буде тим більшою, чим більше діаметр отворів. Але зі збільшенням діаметра буде збільшуватися витрата пари. Необхідно підбирати тиск пари і діаметр отворів таким чином, щоб були забезпечені необхідна висота завіси та найбільш економічний відбір пари. Діаметр отворів необхідно приймати найменшим із можливого (але не менше 3 мм) для кожного тиску пари.

Нижче наведено методику розрахунку безперервної огорожувальної парової завіси.

1. Виходячи з конструктивних особливостей об'єкта, що захищається, та його розташування на виробничому майданчику, визначаємо висоту зони, що захищається (Н).

2. Визначаємо відстань від колектора завіси до об'єкта, що захищається (Х):

$$X = 0,25 \cdot H, \quad (5.16)$$

де Н – максимальна відстань від нульової відмітки виробничого майданчика до найвищої відмітки установки або граничного за висотою мі-

сця розміщення імовірного джерела запалювання (висота зони, що захищається), м.

3. Визначаємо довжину колектора (перфорованого трубопроводу) ( $L_{\text{кол}}$ ):

$$L_{\text{кол}} = P + 8 \cdot X, \quad (5.17)$$

де  $P$  – периметр об’єкта, що захищається, м;

$X$  – відстань від колектора завіси до об’єкта, що захищається, м.

4. Розраховуємо питому витрату пари з отворів колектора за формулою:

$$\rho_0 W_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{V_1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (5.18)$$

де  $\rho_0$  – густина пари, кг/м<sup>3</sup>;

$W_0$  – швидкість виходу пари, м/с;

$P_1$  – тиск пари у колекторі, Па;

$V_1$  – питомий об’єм пари у колекторі, м<sup>3</sup>/кг;

$P_2$  – атмосферний тиск, Па;

$k$  – показник адиабати (для перегрітої пари дорівнює 1,3; для насиченої пари – 1,135).

5. Обчислюємо діаметр отворів у колекторі ( $d_0$ ) за формулою:

$$d_0 = \left( \frac{\rho_{\text{п}} \cdot W_{\text{п}}}{\rho_0 \cdot W_0} \right)^{1,5} \cdot \frac{H^{1,5}}{X^{0,5}}, \quad (5.19)$$

де  $\rho_{\text{п}}$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$W_{\text{п}}$  – швидкість вітру, м/с.

6. Висоту парової завіси можна визначити, виходячи з діаметра отворів у колекторі, за формулою:

$$H_3 = X^{0,333} \cdot d_0^{0,667} \frac{\rho_{\text{п}} \cdot W_{\text{п}}}{\rho_0 \cdot W_0}. \quad (5.20)$$

7. Визначаємо відстань між отворами у колекторі ( $l$ ) за формулою:

$$l = \frac{h}{2,0}, \quad (5.21)$$

де  $h$  – висота верхньої крайки огороження над колектором, м.



8. Кількість отворів у колекторі ( $n$ ) можна визначити за формулою:

$$n = \frac{L_{\text{кол}}}{1} + 1. \quad (5.22)$$

9. Діаметр колектора (перфорованого трубопроводу) ( $D_{\text{кол}}$ ) визначають за формулою:

$$D_{\text{кол}} = 1,83d_0 \cdot \sqrt{n}. \quad (5.23)$$

10. Витрату водяної пари на утворення водяної завіси ( $G_{\text{п}}$ ) розраховують за формулою:

$$G_{\text{п}} = 0,785 \cdot \varphi_0 \cdot d_0^2 \cdot n \cdot \rho_0 \cdot W_0, \quad (5.24)$$

де  $\varphi_0$  – коефіцієнт витрати пари через отвір (приймають 0,6–0,8).

11. Загальну висоту огороження ( $h_{\text{огор.}}$ ) визначають за формулою:

$$h_{\text{огор.}} = h + h_{\text{оп}}, \quad (5.25)$$

де  $h_{\text{оп}}$  – висота опори колектора, м.

12. Відстань від огороження до колектора ( $X_1$ ) обчислюють за формулою:

$$X_1 = 0,25h. \quad (5.26)$$

13. Довжину огороження ( $L_{\text{огор.}}$ ) визначають за формулою:

$$L_{\text{огор.}} = L_{\text{кол}} + 8 \cdot X_1. \quad (5.27)$$

### **Розрахунок локальної завіси**

Розрахунки локальної завіси починають із визначення видів зон захисту, їх кількості та розмірів.

1. Відстань від випускного отвору локальної завіси ( $x_i$ ) до центру небезпечної зони (пальника, вибухового клапана, люка-лазу тощо) визначають за формулою:

$$x_i = 2 \cdot a_i, \quad (5.28)$$

де  $a_i$  – характерний розмір (діаметр, довжина, ширина)  $i$ -ї зони, що захищається, м.

2. Діаметр випускного отвору для кожної і-ї локальної зони розраховують за формулою:

$$d_{ai} = 0,01 \cdot x_i. \quad (5.29)$$

3. Загальні витрати водяної пари на утворення локальних флегматизуючих завіс для захисту всіх небезпечних зон (кг/с) визначають за формулою:

$$G_{п.лок.} = 78,5 \cdot \sum_{i=1}^k d_{ni}^2 \cdot n_i, \quad (5.30)$$

де  $n_i$  – кількість зон захисту одного виду;  
 $k$  – кількість видів зон захисту.

4. Розраховані величини витрати пари для безперервної завіси ( $G_{п.}$ ) та витрати пари для локальної завіси ( $G_{п.лок.}$ ) порівнюють. Якщо  $G_{п.лок.} \geq G_{п.}$ , то локальну флегматизуючу завісу не слід застосовувати. У протилежному випадку ( $G_{п.лок.} < G_{п.}$ ) локальна завіса буде більш економічною, у порівнянні з безперервною відбиваючою завісою.

#### **Гідравлічний розрахунок підвідного паропроводу**

Гідравлічний розрахунок підвідного паропроводу виконується за умови забезпечення максимально необхідної витрати пари на одну із двох основних систем захисту.

1. Приймають діаметр трубопроводу, який застосовується для підводу пари, рівним  $d_{вн}$  та проводять його трасування від паропровідної мережі підприємства до розподільчого колектора системи парового захисту.

2. Визначають середню швидкість руху водяної пари по підвідному паропроводу:

$$W_0 = \frac{G}{0,785 \cdot d_{вн}^2 \cdot \rho_{t_{сер}}}, \quad (5.31)$$

де  $G$  – загальні витрати водяної пари для утворення безперервної відбиваючої завіси ( $G_{п.}$ ) або локальної флегматизуючої завіси ( $G_{п.лок.}$ ), кг/с;  
 $\rho_{t_{сер}}$  – густина насиченої водяної пари з урахуванням її середнього тиску в паропровідній мережі підприємства та розподільчому колекторі. Середній тиск у паропроводі визначають за формулою:

$$P_{\text{сер}} = \frac{P_{\text{п}}}{2} + 1 \cdot 10^5, \quad (5.32)$$

де  $P_{\text{п}}$  – тиск пари у паропровідній мережі підприємства, Па.  
Значення величини  $\rho_{t_{\text{сер}}} = f(P_{\text{сер}})$  визначають за табл. 10 додатка.

3. Перевіряють виконання умови, коли фактична швидкість руху пари повинна бути меншою за максимальну швидкість руху пари (50 м/с). Тобто  $W_0 < 50$  м/с. Якщо ж  $W_0 > 50$  м/с, тоді задають новий, збільшений внутрішній діаметр паропроводу і повторюють розрахунки.

4. Визначають число Рейнольдса:

$$Re = \frac{W_0 \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}, \quad (5.33)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості водяної пари, м<sup>2</sup>/с, який приймають за табл. 10 додатка.

5. Розраховують коефіцієнт опору тертя ( $\lambda$ ) в залежності від режиму руху та величини числа Re за формулами (3.26)–(3.28).

6. Визначають сумарний коефіцієнт місцевих опорів ( $\xi_c$ ). Для цього спочатку визначають кількість, види місцевих опорів (за табл. 19 додатка знаходять значення місцевих опорів):

$$\xi_c = \sum_{i=1}^n N \cdot \xi_i, \quad (5.34)$$

де  $N$  – кількість місцевих опорів одного виду;  
 $\xi_i$  – числове значення  $i$ -го коефіцієнта;  
 $n$  – число видів місцевих опорів.

7. Розраховують коефіцієнт опору паропроводу:

$$\xi_{\text{сист}} = \xi_c + \frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} \cdot \sum_{i=1}^n l_i, \quad (5.35)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -ї лінійної ділянки паропроводу, м;  
 $n$  – число лінійних ділянок.

8. Визначають втрати тиску в підвідному паропроводі ( $\Delta P$ ):

$$\Delta P = \xi_{\text{сист}} \frac{\omega^2 \rho_{t_{\text{сер}}}}{2}. \quad (5.36)$$

9. Обчислюють допустимі втрати тиску в підвідному паропроводі ( $[\Delta P]$ ):

$$[\Delta P] = P_{\text{п}} - P_{\text{к}}. \quad (5.37)$$

10. Порівнюють фактичні втрати тиску в паропроводі з допустимими.

Якщо  $\Delta P < [\Delta P]$ , розрахунки закінчені. Якщо  $\Delta P \geq [\Delta P]$ , необхідно:

- задатись новим, збільшеним діаметром паропроводу;
- виконати трасування паропроводу з меншою кількістю місцевих опорів;
- або
- приєднати розподільчий колектор до паропровідної мережі підприємства з більшим тиском водяної пари  $P_{\text{п}}$  і повторити розрахунки.

## 5.2 Методика розв'язання основних типів задач

**Задача 5.2.1.** Через приміщення, в якому обертається сірковуглець, проходить теплоізолюючий паропровід системи опалення. Показати небезпеку виникнення джерела запалювання при пошкодженні теплоізоляції на ділянці паропроводу, якщо тиск нагрітих парів у ньому становить 0,2 МПа.

### *Розв'язання:*

1. Визначаємо показники пожежної небезпеки сірковуглецю.

Сірковуглець ( $\text{CS}_2$ ) – легкозаймиста рідина. Температура спалаху ( $-43$  °С). Температура самоспалахування –  $102$  °С. Мінімальна енергія запалювання  $W_{\text{min}} = 0,009$  МДж.

2. Визначаємо параметри джерела тепла (нагріта поверхня паропроводу системи опалення) згідно вимог умов (5.1)–(5.3).

Оскільки у системах опалення використовується насичена водяна пара, то її температуру (а отже, і температуру незахищеної ділянки паропроводів) визначаємо за тиском парів (табл. 10 додатка):

$$t_{\text{н.п.}} = 120 \text{ °С.}$$

Нагріта поверхня незахищеної ділянки паропроводу є постійно діючим тепловим джерелом у виробничому приміщенні й за кількістю тепла, що виділяється, значно перевищує мінімальну енергію запалювання сірковуглецю ( $W_{\text{min}} = 0,009$  МДж).

3. Оцінюємо можливість запалювання парів сірковуглецю від нагрітого тіла (незахищеної ділянки паропроводу), яка є постійно діючим

тепловим джерелом у виробничому приміщенні, порівнюючи температуру нагрітої поверхні паропроводу з температурою самоспалахування парів сірковуглецю:

$$(t_{н.п}=120\text{ }^{\circ}\text{C}) > (t_{ссп}=102\text{ }^{\circ}\text{C}).$$

Таким чином, на виробництві є небезпека виникнення джерела запалювання для парів сірковуглецю у виді нагрітої поверхні паропроводу з пошкодженою теплоізоляцією.

**Задача 5.2.2.** Зробити висновок про можливість спалахування горючої пароповітряної суміші у виробничому приміщенні від перегрітого корпусу підшипника центрифуги (підшипник працює у режимі «сухого» тертя через порушення режиму змащування). Діаметр вала  $d=40$  мм; коефіцієнт теплообміну між поверхнею підшипника та середовищем  $\alpha = 200$  Вт/(м<sup>2</sup>·К); температура навколишнього середовища  $t=20$  °С; коефіцієнт тертя  $f = 0,15$ ; радіальна сила, що діє на підшипник,  $N = 3000$  Н; частота обертання вала  $n=0,5$  с<sup>-1</sup>; площа поверхні корпусу підшипника  $F = 0,06$  м<sup>2</sup>; горюча речовина – ацетон.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо показники пожежної небезпеки ацетону.

Ацетон (С<sub>3</sub>Н<sub>6</sub>О) – легкозаймиста рідина. Температура спалаху – (-9 °С). Температура самоспалахування – 435 °С. Мінімальна енергія запалювання  $W_{\min} = 0,41$  МДж.

2. Визначаємо потужність сил тертя в підшипнику за формулою (5.7):

$$Q_{\text{тер}} = 3,14 \cdot 0,15 \cdot 3000 \cdot 0,04 \cdot 0,5 = 28,26 \text{ Вт.}$$

3. Розраховуємо максимальну температуру підшипника за формулою (5.6):

$$t_{п} = 20 + \frac{28,26}{40 \cdot 0,06} = 31,775\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

4. Порівнюємо температуру перегрітого підшипника з температурою самоспалахування парів ацетону:

$$(t_{п} = 31,75\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{ссп} = 435\text{ }^{\circ}\text{C}).$$

Отже, спалахування горючої суміші парів ацетону з повітрям за даних умов у приміщенні не станеться.

**Задача 5.2.3.** До картера повітряного одноступінчастого компресора було залито оливу індустріальну 20. Кінцевий тиск стиснення у компресорі становить  $P_k = 0,55$  МПа, а початкова температура повітря  $t_{пов} = 35$  °С. Оцінити вибухопожежну небезпеку процесу стиснення повітря у випадку порушення режиму охолодження компресора.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо показники пожежної небезпеки оливи індустріальної 20.

Олива індустріальна 20 – горюча рідина. Температура спалаху  $t_{сп} = 170$  °С.

Температура самоспалахування – 380 °С. Мінімальна енергія запалювання  $W_{min} = 1,6$  МДж.

2. Визначаємо показник політропи процесу стиснення повітря за формулою:

$$n = 0,9 \cdot k = 0,9 \cdot 1,4 = 1,26,$$

де  $k=1,4$  – показник адіабати для повітря (табл. 6 додатка).

3. Розраховуємо максимальну температуру процесу стиснення повітря в компресорі за формулою (5.10):

$$t_k = (273 + 35) \cdot \left( \frac{0,55}{0,1} \right)^{\frac{1,26-1}{1,26}} - 273 = 164,8 \text{ °С},$$

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

4. Порівнюємо температуру процесу стиснення повітря в компресорі з температурою самоспалахування оливи індустріальної 20:

$$(t_k = 164,8 \text{ °С} < t_{сп} = 380 \text{ °С}).$$

Таким чином, при нагріванні компресора до температури 164,8 °С у пароповітряному просторі картера, заповненого оливою індустріальною 20, є не можливим спалахування оливи.

**Задача 5.2.4.** У технологічному процесі бере участь сипкий матеріал – полінак, схильний до теплового самозаймання; він збирається в бункері – накопичувачі й утворює на його плоскому дні купу конічної форми. Днище апарата має теплоізоляцію. Визначити показники пожежної небезпеки горючого матеріалу та безпечні умови його зберігання, якщо відомо, що діаметр основи купи становить  $d=3,4$  м, а її висота  $h=1,2$  м. Тривалість зберігання полінаку за температури 60 °С становить 10 діб.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо показник пожежної небезпеки матеріалу.

Полінак – тверда горюча речовина, схильна до самозаймання.

Емпіричні константи для визначення умов самозаймання полінаку:

$$A_p=1,956;$$

$$n_p=0,113;$$

$$A_b=2,230;$$

$$n_b=0,1 \text{ (табл. 18 додатка).}$$

2. Визначаємо площу поверхні бункера – накопичувача, яка буде брати участь у теплообміні з навколишнім середовищем.

У зв'язку з тим, що насипна площа купи полінаку прилягає до тепло-ізолюваного дна бункера - накопичувача і не бере участі у теплообміні, розрахуємо площу бокової поверхні бункера, яка бере участь у теплообміні з навколишнім середовищем.

$$F = \pi \cdot r \cdot \sqrt{h^2 + r^2} = 3,14 \cdot 1,7 \cdot \sqrt{1,2^2 + 1,7^2} = 11,11 \text{ м}^2,$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 1,7^2 \cdot 1,2 = 3,63 \text{ м}^3,$$

де  $r=1,7$  м – радіус основи конуса;

$h=1,2$  м – висота конуса.

3. Розраховуємо питому поверхню матеріалу за формулою (5.14):

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

4. Запишемо умови теплового самозаймання порошку полінаку за формулами (5.13):

$$\lg t_c = A_p + n_p \cdot \lg S = 1,956 + 0,113 \cdot \lg 3,06,$$

$$\lg \tau_c = \frac{1}{n_b} \cdot (A_b - \lg t_c) = \frac{1}{0,1} \cdot (2,230 - \lg t_c),$$

де  $A_p=1,956$ ;  $n_p=0,113$ ;  $A_b=2,230$ ;  $n_b=0,1$ .

5. Визначаємо температуру навколишнього середовища, за якою станеться теплове самозаймання цього порошку:

$$\lg t_c = 1,956 + 0,113 \cdot \lg 3,06 = 2,011,$$

$$t_c = 10^{2,011} = 102,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6. Обчислюємо тривалість процесу саморозігрівання матеріалу в бункері до його самозаймання:

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

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

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

що значно менше тривалості зберігання матеріалу в бункері ( $\tau \approx 6,5$  діб  $< \tau_p = 10$  діб).

7. Визначаємо безпечну температуру зберігання матеріалу (полінаку), схильного до теплового самозаймання, за формулою (5.15):

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

Таким чином, самозаймання порошку полінаку в бункері – накопичувачі не станеться за умов дотримання режиму зберігання ( $t_p = 60$  °C  $< t_{p.\text{без}} = 82$  °C).

**Задача 5.2.5.** Розрахувати параметри парової завіси для технологічної трубчастой печі з вертикальним рухом газів. Периметр зони, що захищається, становить 20 м. Висота – 6 м. До колектора завіси можна подати перегріту пару під тиском до  $P_1 = 1,2$  МПа. Середня температура найбільш холодного періоду часу  $t_n = -15$  °C ( $\rho_n = 1,36$  кг/м<sup>3</sup>). Атмосферний тиск  $P_2 = 0,1$  МПа. Колектор завіси зручно розташувати на бетонних опорах висотою  $h_6 = 0,2$  м. Висота верхньої крайки огороження над колектором завіси  $h = 0,5$  м.

**Розв’язання:**

1. За табл. 27 додатка визначаємо, що для зони, що захищається, висотою 6 м за тиску пари до 1,2 МПа та швидкості вітру 2 м/с доцільно прийняти  $P_1 = 1$  МПа і  $d_0 = 3$  мм. Питомий об’єм пари ( $V_1$ ) при  $P_1 = 1$  МПа дорівнює  $0,2$  м<sup>3</sup>/кг.

2. Визначаємо відстань від колектора завіси (X) до об’єкта, який захищається, за формулою (5.16):

$$X = 0,25 \cdot 6 = 1,5 \text{ м.}$$



3. Розраховуємо довжину колектора завіси ( $L_{\text{кол.}}$ ) за формулою (5.17):

$$L_{\text{кол.}} = 20 + 8 \cdot 1,5 = 32 \text{ м.}$$

4. Визначаємо питому витрату пари з отворів колектора за формулою (5.18):

$$\rho_0 v_{\text{п}} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot \frac{1,3}{0,3} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-5}}{0,2} \left[ \left( \frac{0,1}{1} \right)^{\frac{2}{1,3}} - \left( \frac{0,1}{1} \right)^{\frac{2,3}{1,3}} \right]} = 685 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

5. Визначаємо діаметр отворів у колекторі за формулою (5.19):

$$d_0 = \left( \frac{1,36 \cdot 2}{685} \right)^{1,5} \cdot \frac{6^{1,5}}{1,5^{0,5}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3 \text{ мм.}$$

6. Визначаємо відстань між отворами за формулою (5.21):

$$l = 0,5 / 2 = 0,25 \text{ м} = 250 \text{ мм.}$$

7. Розраховуємо число отворів за формулою (5.22):

$$n = 32 / 0,25 + 1 = 129 \text{ шт.}$$

8. Обчислюємо діаметр колектора завіси за формулою (5.23):

$$D_{\text{кол.}} = 1,83 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 129^{0,5} = 63 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 63 \text{ мм.}$$

Обираємо сталеву трубу діаметром 76 мм (товщина стінки – 3 мм).

9. Визначаємо витрату пари за формулою (5.24):

$$G_{\text{п}} = 0,785 \cdot 0,8 (3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 129 \cdot 685 = 0,498 \text{ кг} / \text{с} = 1,56 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

10. Розраховуємо загальну висоту огороження за формулою (5.25):

$$h_{\text{ог}} = 0,2 + 0,5 = 0,7 \text{ м.}$$

11. Обчислюємо відстань від огороження до колектора за формулою (5.26):

$$X_1 = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ м.}$$

12. Визначаємо довжину огороження парової завіси для технологічної трубчастої печі за формулою (5.27):

$$L_{\text{огор.}} = 32 + 8 \cdot 0,125 = 33 \text{ м.}$$

**Задача 5.2.6.** Розрахувати параметри локальної парової завіси для небезпечних зон трубчастої печі: 4 пальники, що розташовані у днищі печі, та 2 вибухових клапани (загальна кількість зон захисту становить 6). Характерний розмір (діаметр) всіх зон  $D=0,5$  м. За розрахунками встановлено, що витрата пари на безперервну відбиваючу завісу трубчастої печі становить 1,79 т/год.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо відстань від випускного отвору локальної завіси ( $x_i$ ) до центру небезпечної зони (пальники, вибухові клапани) за формулою (5.28):

$$x_i = 2 \cdot 0,5 = 1\text{ м} = 1000\text{ мм.}$$

2. Розраховуємо діаметр випускного отвору для кожної  $i$ -ї локальної зони за формулою (5.29). Діаметр випускного отвору для кожної  $i$ -ї локальної зони визначають за умови забезпечення у площині зони, що захищається, на осі флегматизуючої концентрації водяної пари 35 %:

$$d_{ai} = 0,01 \cdot 1000 = 10\text{ мм} = 0,01\text{ м.}$$

3. Обчислюємо загальні витрати водяної пари на утворення локальних флегматизуючих завіс для захисту всіх небезпечних зон за формулою (5.30):

$$G_{\text{п.лок.}} = 78,5 \cdot 0,01^2 \cdot 6 = 0,047\text{ кг / с} = 0,17\text{ т/год.}$$

4. Порівнюємо значення витрати пари для безперервної завіси ( $G_{\text{п}}$ ) та витрати пари для локальної завіси ( $G_{\text{п.лок.}}$ ):

$$0,17 < 1,79, \text{ тобто } G_{\text{п.лок.}} < G_{\text{п.}}$$

Отже, локальна завіса буде більш економічною у порівнянні з безперервною відбиваючою завісою.

**Контрольні завдання**

**Завдання 5.3.1.** Показати можливість появи у виробничому приміщенні джерела запалювання у виді перегрітого підшипника центрифуги за умов порушення режиму змащування. Температура повітря у приміщенні  $t_{\text{п}}=25$  °С. Діаметр шийки вала – 40 мм. Вид горючої речовини у приміщенні та інші дані для розрахунку наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники для виконання завдання 5.3.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча речовина	Аміак	Ацетон	Бензол	Гексан	Мета-нол	Октан	Метилетил-кетон	Толуол	Етан	Бензин
Частота обертання, с <sup>-1</sup>	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, м <sup>2</sup>	0,08	0,1	0,15	0,15	0,05	0,06	0,12	0,14	0,05	0,07
Матеріал тіл, що підлягають тертю	Сталь Сталь		Сталь Чавун		Сталь Бронза		Чавун Бронза		Бронза Бронза	

**Примітка.** Аналіз небезпеки появи джерела запалювання у приміщенні проводити з урахуванням горючої утворення у ньому ВНК речовини.

**Завдання 5.3.2.** Під час роботи стрічкового транспортера у виробничому приміщенні внаслідок його перевантаження сталося пробуксовування прогумованої стрічки на чавунному тяговому барабані. Показати можливість появи джерела запалювання у приміщенні внаслідок порушення режиму експлуатації транспортера. Вид горючої речовини у приміщенні прийняти за табл. 5.2. Інші дані для розрахунку наведені у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Показники для виконання завдання 5.3.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота обертання, с <sup>-1</sup>	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 та 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, який омивається повітрям, врахувати ті обставини, що половина його поверхні (по колу) обгорнута транспортерною стрічкою, яка є добрим теплоізоляційним матеріалом.

**Завдання 5.3.3.** Для стиснення метаноповітряної суміші проектом передбачається використання двоступінчастого компресора. Концентрація метану в суміші становить 6 % об. Початкова температура суміші 15 °С. Проаналізувати вибухопожежну небезпеку процесу стиснення газу у вказаному компресорі з точки зору можливості появи джерела запалювання і за необхідності запропонувати, обґрунтувавши розрахунками, пожежовибухобезпечний варіант проведення процесу стиснення цієї метаноповітряної суміші. У табл. 5.4 наведені температура спалаху  $t_{сп}$  індустріальної оливи, що використовується для змащування компресора та інші дані для розрахунку.

Таблиця 5.4 – Показники для виконання завдання 5.3.3

№ варіанта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{сп}, ^\circ\text{C}$		180		190		210		185		200	
Тиск, МПа	Поч.	0,08	0,09	0,1	0,08	0,09	0,1	0,11	0,08	0,11	0,09
	Кін.	20	26	23	21	24	22	25	22	24	21

**Завдання 5.3.4.** На основному виробництві готовий продукт і відходи виробництва завантажують у крафт-мішки розміром  $0,80 \times 0,40$  м та відправляють на склад. У складському приміщенні мішки розміщують у два штабелі впритул до стіни більшою стороною. Максимальний розмір штабеля у плані  $84 \times 20$  м, висота штабеля – 4,2 м. Проаналізувати пожежну небезпеку процесу зберігання готового продукту і, за необхідності, виходячи з умов теплового самозаймання матеріалу, запропонувати пожежобезпечний режим його зберігання. Вид продукту, його початкову температуру  $t_p$  і тривалість зберігання  $\tau$  прийняти за табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Показники для виконання завдання 5.3.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продукт	Борошно кормове	Вітамін В2	Повість будівельна	Гіпсотерми (крихта)	Диспергатор НФ	Іонообмінна смола СГ	Кормогризин 10	Борошно вітамінне хвойне	Тирса соснова	Соломка пшенична
$t_p, ^\circ\text{C}$	65	50	51	60	45	65	55	58	70	35
$\tau$ , доб.	100	40	140	42	95	180	22	30	5	6,5

**Примітка.** Теплопровідність та пожежонебезпечні властивості матеріалу крафт-мішків не враховувати.

**Завдання 5.3.5.** Запропонувати тип зовнішньої парової завіси для захисту технологічної трубчастої печі нафтопереробної установки та виконати її розрахункове обґрунтування. Розміри печі на плані ( $a \times b$ ) наведені в табл. 5.6. Підвідний паропровід виконано із труб діаметром  $d_{вн}$ , а його загальну довжину  $\sum l_i$  наведено у табл. 5.6. Тиск пари у паропроводі підприємства становить 0,7 МПа. Висоту печі та інші дані для розрахунку прийняти за табл. 5.7.

Таблиця 5.6 – Розміри печі до завдання 5.3.5

№ варіанта	1, 6	2, 7	3, 8	4, 9	5, 10
$a \times b$ , м	12 x 8	10 x 6	14 x 8	24 x 10	18 x 10
$\sum l_i$ , м	120	140	160	180	200

Таблиця 5.7 – Показники для виконання завдання 5.3.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Висота печі, м	6	8	10	12	14	7	9	11	15	18
Кількість небезпечних зон	4	3	3	2	2	4	3	3	2	1
Кількість локальних небезпечних зон	12	15	20	14	16	18	20	14	14	9
Діаметр кожної локальної зони, м	0,6	0,5	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,5
Кількість поворотів на підвідному паропроводі	4	6	8	8	4	6	5	12	7	5

## 6 ЗАПОБІГАННЯ ПОШИРЕННЮ ПОЖЕЖІ НА ВИРОБНИЦТВІ

### 6.1 Теоретична частина

На виробництвах з пожежовибухонебезпечними технологічними процесами майже завжди існують умови для швидкого поширення пожежі. Це пояснюється не тільки наявністю у виробничих приміщеннях і на відкритих площадках великої кількості легкозаймистих і горючих речовин, а й відсутністю відповідних протипожежних перешкод на шляхах можливого поширення пожежі (по розгалужених комунікаціях продуктопроводів, у транспортних системах, в отворах будівельних конструкцій, по вентиляційних та аспіраційних системах тощо).

Необхідність приділити більше уваги питанням створення умов, які забезпечать локалізацію пожежі у межах ділянки її виникнення, визначається тим, що кожного року на промислових підприємствах, матеріальних складах виникають значні пожежі, які призводять до великих матеріальних збитків, а іноді й до загибелі людей.

Поширенню пожежі, яка виникла, будуть сприяти наступні умови:

- наявність значної кількості горючих речовин і матеріалів на виробничих та складських площах;
- наявність шляхів, які створюють можливість поширення полум'я і продуктів згоряння на обладнання та приміщення, що розташовані поблизу;
- поява внаслідок пожежі факторів, які прискорюють її розвиток (розтікання горючих рідин під час аварії, вихід горючих газів, вибух технологічного обладнання тощо);
- запізніле виявлення пожежі та сповіщення про неї;

– відсутність або несправність первинних і стаціонарних засобів пожежогасіння;

– невірні дії людей на випадок пожежі.

Велика кількість горючих речовин і матеріалів в апаратах, ємностях, біля робочих місць чи на відкритих майданчиках пояснюється вимогами виробництва для нормального ведення технологічних процесів. У процесі експлуатації іноді виникає безпідставне збільшення запасів горючих речовин на складах та у виробничих приміщеннях. Перевантаження призводить до того, що проходи між технологічним обладнанням, шляхи до засобів пожежогасіння, евакуаційні виходи захаращуються горючими матеріалами.

Іншою причиною швидкого поширення пожежі є наявність у виробничих приміщеннях різних технологічних комунікацій (трубопроводів, систем вентиляції) та технологічних отворів без протипожежних перешкод. У цьому випадку вогонь безперешкодно може поширюватись від одного апарата до іншого, з одного приміщення до іншого.

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

По виробничих комунікаціях (системи для прокладки трубопроводів, наземні трубопровідні естакади, підземні тунелі, траншеї, системи каналізації, окремі трубопроводи, повітропроводи, лотки, канали тощо) полум'я може поширюватися у тих випадках, якщо усередині в них утворилася горюча концентрація парів ЛЗР, ГР, газу або пилу; коли трубопроводи з горючими рідинами працюють неповним перерізом; якщо є шар горючої рідини на поверхні води у системі виробничої каналізації, у лотках і траншеях або горючі відкладення на поверхні труб, каналів і повітропроводів; якщо у системі знаходяться гази, газові суміші або рідини, здатні розкладатися з подальшим загоранням під впливом високої температури або тиску.

Вогонь може поширюватися також через технологічні отвори у глухих стінах і перекриттях, де проходять трубопроводи, норії та інші транспортні пристрої.

Щоб запобігти поширенню вогню по виробничих комунікаціях, застосовують різний за своїм улаштуванням захист: вогнеперешкоджувачі сухі; вогнеперешкоджувачі у вигляді гідравлічних затворів; затвори з твердих здрібнених матеріалів; засувки і заслінки, що автоматично закриваються; водяні завіси; перемички тощо [8].

*Вогнеперешкоджувачі сухі* – це такі захисні пристрої на трубопроводах, які вільно пропускають потік рідини або газів через тверду вогнезахисну насадку, але затримують полум'я, тобто гасять його. Принцип дії сухих вогнеперешкоджувачів базується на гасінні полум'я у вузьких каналах, яке, згідно теорії поширення полум'я, зумовлено тепловими втратами із зони реакції до стінок каналу. До основних розрахункових параметрів вогнеперешкоджувача (технічна характеристика) відносять:

- критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача;
- діаметр гранул;
- висоту гранул;
- опір шару насадки;
- діаметр корпусу вогнеперешкоджувача.

Основним розрахунковим параметром сухих вогнеперешкоджувачів є критичний діаметр його каналу, який визначають за формулою:

$$d_{\text{кр}} = \frac{Re_{\text{кр}} \cdot R \cdot (t_p + 273) \cdot \lambda}{U_n \cdot C_p \cdot P_p}, \quad (6.1)$$

де  $d_{\text{кр}}$  – критичний діаметр каналів сухого вогнеперешкоджувача, м;  
 $Re_{\text{кр}}$  – критичне значення числа Пекле на межі гасіння полум'я (приймають рівним 6,5);

$U_n$  – нормальна швидкість поширення полум'я у сумішах різних парів і газів із повітрям, м/с. Максимальні значення нормальної швидкості поширення полум'я у сумішах різних парів і газів із повітрям наведені в табл. 1 додатка;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності горючої суміші, Вт/м·К. Величину коефіцієнта теплопровідності двокомпонентної паро-, газоповітряної суміші визначають за формулою:

$$\lambda = \varphi_r \cdot \lambda_r + (1 - \varphi_r) \cdot \lambda_n, \quad (6.2)$$

де  $\varphi_r$  – вміст горючої речовини в суміші (стехіометричного складу), об. частки;

$\lambda_r$  та  $\lambda_n$  – коефіцієнти теплопровідності відповідно горючої пари (газу) та повітря, Вт/м·К (табл. 11, 16 додатка);

$C_p$  – питома теплоємність горючої суміші за постійного тиску, Дж/кг·К.

Для багатоконпонентної суміші величину коефіцієнта теплопровідності визначають за формулою:

$$\lambda = \frac{\sum_i^n \varphi_i \lambda_i \sqrt[3]{M_i}}{\sum_i^n \varphi_i \cdot \sqrt[3]{M_i}}, \quad (6.3)$$

де  $\varphi_i$ ,  $\lambda_i$ ,  $M_i$  – відповідно мольна частка, коефіцієнт теплопровідності та молекулярна маса  $i$ -го компонента горючої суміші.

Питому теплоємність горючої суміші визначають за формулою:

$$C_p = \varphi_r \cdot C_{p,r} + (1 - \varphi_r) \cdot C_{p,n}, \quad (6.4)$$

де  $C_{p,r}$  – питома теплоємність горючих парів або газів, Дж/кг·К (табл. 10 додатка);

$C_{p,n}$  – питома теплоємність повітря, Дж/кг·К (табл. 16 додатка);

$R$  – питома газова стала горючої суміші, Дж/кг·К. Визначають за формулою:

$$R = \frac{8314,31}{\varphi_i \cdot M_i + (1 - \varphi_i) \cdot M_n} \text{ Дж/кг·К}, \quad (6.5)$$

де  $\varphi_i$  – концентрація горючої  $i$ -ї речовини у суміші, об. част.;

$M_i$  – молекулярна маса горючої  $i$ -ї речовини, кг/кмоль;

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

Фактичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача становить:

$$d = 0,5 \cdot d_{кр}. \quad (6.6)$$

Для забезпечення надійності гасіння полум'я фактичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача повинен бути менше критичного, тобто

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

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

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

Під час розрахунку насадкових вогнеперешкоджувачів (наприклад, гравійних) визначають діаметр гранул, гідравлічний опір шару насадки та діаметр перерізу захисного пристрою.



Якщо насадка вогнеперешкоджувача виконана з гранул (гравій, кілля, кульки) приблизно однакового розміру, діаметр гранул насадки вогнеперешкоджувача  $d_{гр}$  можна визначити зі співвідношення:

$$d_{гр} = (3...4) \cdot d. \quad (6.8)$$

Комунікаційні вогнеперешкоджувачі постійно викликають гідравлічний опір технологічному потоку, вимагаючи додаткових затрат енергії на переміщення газу, причому прагнення підвищити їхню спроможність до гасіння полум'я завжди опиняється у протиріччі з прагненням зменшити гідравлічний опір.

Втрати напору у вхідних і вихідних патрубках можна визначити за допомогою значень коефіцієнтів місцевих опорів окремих елементів, наведених у довідковій літературі.

Гідравлічний опір шару насадки вогнеперешкоджувача  $\Delta P$  (Па) визначають за формулою:

$$\Delta P = \lambda_r \frac{H \cdot \omega^2}{d_e \cdot 2} \rho_t, \quad (6.9)$$

де  $\lambda_r$  – коефіцієнт гідравлічного опору шару насадки (гранул);  $\epsilon$  функцією числа Рейнольдса для газового потоку у пористому шарі;

$H$  – висота шару насадки (гранул) у вогнеперешкоджувачі, м. Приймають  $H=(40-50) d_{гр}$ ;

$\omega$  – дійсна швидкість горючої суміші у шарі насадки вогнеперешкоджувача, м/с;

$d_e$  – еквівалентний діаметр вогнегасних каналів у шарі гранул, м;

$\rho_t$  – густина вихідної паро-газоповітряної суміші за робочої температури, кг/м<sup>3</sup>. Визначають за формулою (2.4).

Коефіцієнт гідравлічного опору шару насадки (гранул)  $\lambda_r$  визначають залежно від числа Рейнольдса:

$$\text{при } Re < 40 \quad \lambda_r = 140/Re;$$

$$\text{при } Re > 40 \quad \lambda_r = 16/Re.$$

Для цього число Рейнольдса визначають за формулою:

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

де  $\omega_\phi$  – фіктивна швидкість горючої суміші у шарі насадки вогнеперешкоджувача, м/с. Фіктивна швидкість дорівнює відношенню максимальної об'ємної витрати газової суміші (через вогнеперешкоджувач)

до всієї площі поперечного перерізу шару насадок. При розрахунках використовують метод послідовних наближень, для чого задаються значенням фіктивної швидкості  $\omega_{\phi} = 0,2-1,5$  м/с;

$\rho_t$  – густина вихідної паро-газоповітряної суміші за робочої температури, кг/м<sup>3</sup>. Визначають за формулою (2.4);

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості газової суміші, Па с;

$S$  – питома поверхня насадки, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> (табл. 22 додатка).

Коефіцієнт динамічної в'язкості газової суміші  $\mu$  за робочої температури визначають за формулою:

$$\mu_r = \mu_0 \frac{t_0 + C}{t_p + C} \cdot \sqrt{\left(\frac{t_p + 273}{t_0 + 273}\right)^3}, \quad (6.11)$$

де  $\mu_r$  та  $\mu_0$  – відповідно коефіцієнти динамічної в'язкості газу (пари) за температур  $t_p$  та  $t_0$ , що наведені у довідковій літературі, Па с (табл.12 додатка);

$C$  – константа Сазерленда, К.  $C = 1,47 T_{\text{кип}}$ . Значення константи  $C$  для деяких речовин наведено у табл.11 додатка.

В'язкість двокомпонентної газової суміші за робочої температури визначають за формулою:

$$\mu = \frac{\varphi_r \cdot M_r + (1 - \varphi_r) \cdot M_{\text{п}}}{\varphi_r \cdot M_r \cdot \mu_{\text{п}} + (1 - \varphi_r) \cdot M_{\text{п}} \cdot \mu_r} \cdot \mu_r \mu_{\text{п}}, \quad (6.12)$$

де індекс «г» відноситься до горючої речовини;

індекс «п» – до повітря;

$M$  – молекулярна маса речовини, кг/кмоль;

$M_{\text{п}} = 28,96$  кг/кмоль – молекулярна маса повітря;

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па с. За стехіометричної концентрації горючої речовини у вихідній суміші менше 5 % об. в'язкість, густину та інші показники горючої суміші можна приймати за повітрям.

Дійсну швидкість газової суміші у вогнеперешкоджувачі визначають за формулою:

$$\omega = \frac{\omega_{\phi}}{\varepsilon}, \quad (6.13)$$

де  $\omega_{\phi}$  – фіктивна швидкість горючої суміші у шарі насадки вогнеперешкоджувача, м/с;

$\varepsilon$  – пористість насадки, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Так, наприклад, пористість насадок із різних кілець Рашига, що найбільш часто використовуються у вогне-

перешкоджувачах, залежно від розмірів кілець знаходиться в межах 0,90–0,97 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Еквівалентний діаметр вогнегасних каналів у шарі гранул  $d_e$  (м) визначають за формулою:

$$d_e = 4 \cdot \frac{\varepsilon}{S}, \quad (6.14)$$

де  $\varepsilon$  – пористість насадки, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$S$  – питома поверхня насадки, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> (табл. 21 додатка).

Діаметр корпусу вогнеперешкоджувача  $D$  визначають як більшу величину з наступних двох значень:

$$D = \max \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_\phi}}; 20d_{\text{гр}}, \quad (6.15)$$

де  $Q$  – максимальна витрата горючої суміші у трубопроводі, що захищається, м<sup>3</sup>/с;

$\omega_\phi$  – фіктивна швидкість горючої суміші у шарі насадки вогнеперешкоджувача, м/с. Величину фіктивної швидкості визначають методом послідовних наближень з рівнянь (6.8) та (6.12), за умови, що втрати напору чистої насадки не повинні перевищувати 100–200 Па, тобто:

$$\omega_\phi = 1,41 \cdot \varepsilon \sqrt{\frac{\Delta P \cdot d_e}{\lambda_r \cdot H \cdot \rho_t}}. \quad (6.16)$$

Для обмеження розвитку пожежі на виробництві застосовується *аварійний злив* пожежонебезпечних рідин з апаратів, які знаходяться у небезпечній зоні. Аварійний злив здійснюється самопливом або шляхом витискування рідини з апаратів стисненим (інертним) газом.

*Основним розрахунковим параметром системи аварійного зливу є* тривалість спорожнення апаратів від горючої рідини, яка визначається за формулою:

$$\tau_{\text{спор.м.}} = [\tau]_{\text{зл.}} - \tau_{\text{опер}}, \quad (6.17)$$

де  $\tau_{\text{спор.м.}}$  – максимально допустима тривалість аварійного спорожнення апарата, с;

$[\tau]_{\text{зл.}}$  – допустима тривалість аварійного зливу, с. У більшості випадків приймають рівною  $[\tau]_{\text{зл.}} \leq 900$  с, або обґрунтовують розрахунком,

виходячи з вогнестійкості будівельних конструкцій та обладнання, тривалості вигорання горючої рідини та середнього часу виклику пожежних підрозділів;

$\tau_{\text{опер}}$  – тривалість операцій по приведенню системи у дію, яка на діючому підприємстві складається з часу виявлення аварійної ситуації  $\tau_{\text{в.а.}}$ , прийняття рішення  $\tau_{\text{п.р.}}$ , продування (за необхідності) системи інертним газом  $\tau_{\text{пр}}$  та відкривання привідних засувок  $\tau_{\text{п.з.}}$ .

$$\tau_{\text{опер.}} = \tau_{\text{в.а.}} + \tau_{\text{п.р.}} + \tau_{\text{пр.}} + \tau_{\text{п.з.}}, \quad (6.18)$$

При проектуванні систем аварійного зливу приймають: при ручному пуску системи у дію:  $\tau_{\text{опер.р.}}=300$  с, а при автоматичному –  $\tau_{\text{опер.а.}}=120$  с.

Тривалість спорожнення апаратів, що мають постійний за висотою переріз (вертикальний циліндричний апарат, апарат із квадратною або прямокутною основою та паралельними стінками тощо), визначають за формулою:

$$\tau_{\text{спор}} = \frac{0,452 \cdot F \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\varphi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вих}}}, \quad (6.19)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу апарата,  $\text{м}^2$ ;

$H_1$  та  $H_2$  – відстань (по вертикалі) від рівня рідини в апараті на початку зливу до вихідного перерізу аварійного трубопроводу ( $H_1$ ), та від випускного отвору апарата до вихідного перерізу аварійного трубопроводу в аварійній ємності ( $H_2$ ), м;

$\varphi_{\text{сист}}$  – коефіцієнт витрати системи;

$f_{\text{вих}}$  – площа прохідного перерізу вихідного патрубку апарата,  $\text{м}^2$ .

Коефіцієнт витрати системи аварійного зливу визначають за допомогою методу послідовних наближень:

$$\varphi_{\text{сист}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 3 \cdot \xi_{\text{сист}}}}, \quad (6.20)$$

де  $\xi_{\text{сист}}$  – коефіцієнт опору системи, який визначають за формулою:

$$\xi_{\text{сист}} = \xi_{\text{с}} + \frac{\lambda}{d_{\text{вн}}} \sum_{i=1}^n l_i, \quad (6.21)$$

де  $\xi_c$  – сумарний коефіцієнт місцевих опорів;  
 $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м. Внутрішній діаметр труб згідно вимог норм приймають не менше 100 мм;  
 $l_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки трубопроводу, м;  
 $n$  – кількість лінійних ділянок;  
 $\lambda$  – коефіцієнт опору тертя, який визначають, залежно від режиму руху рідини (числа Рейнольдса), за формулами (3.26)–(3.28). Коефіцієнт опору тертя у середньому дорівнює 0,03. За турбулентного режиму руху в гідравлічних трубах коефіцієнт опору тертя визначають за формулою:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}. \quad (6.22)$$

Сумарний коефіцієнт місцевих опорів  $\xi_c$  визначають за формулою:

$$\xi_c = \sum_{i=1}^n N_i \xi_i, \quad (6.23)$$

де  $\xi_c$  – сумарний коефіцієнт місцевих опорів;  
 $N_i$  – кількість місцевих опорів даного виду;  
 $\xi_i$  – числове значення  $i$ -го коефіцієнта. Кількість та види місцевих опорів визначають за табл. 19 додатка.

Значення критерію Рейнольдса ( $\text{Re}$ ) визначають за формулою:

$$\text{Re} = \omega \cdot d_{\text{вн}} \frac{\rho_t}{\mu_t}, \quad (6.24)$$

де  $\omega$  – середня швидкість руху рідини в аварійному трубопроводі, м/с;  
 $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м;  
 $\rho_t$  – густина рідини за даної температури,  $\text{кг/м}^3$ . Визначають за формулою (2.4) чи за табл. 1 додатка;

$\mu_t$  – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини за даної температури, Па·с, визначають за формулами (6.11) та (6.12) чи за табл. 12 додатка.

Середню швидкість руху рідини в аварійному трубопроводі визначають за формулою:

$$\omega = 2,22 \cdot \varphi_{\text{сист}} (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}). \quad (6.25)$$

Діаметр аварійного трубопроводу визначають за формулою:

$$d_{\text{тр}} = 0,758 \cdot \sqrt{\frac{V_p}{\tau_{\text{спор.м}} \cdot \Phi_{\text{сист}} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})}}, \quad (6.26)$$

де  $V_p$  – об’єм рідини, що зливають з апаратів ( $\text{м}^3$ ), який визначають за формулою:

$$V_p = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \varepsilon_i, \quad (6.27)$$

де  $V_i$  – геометричний об’єм  $i$ -го апарата, що підлягає спорожненню,  $\text{м}^3$ ;  
 $\varepsilon_i$  – ступінь заповнення  $i$ -го апарата;  
 $n$  – число апаратів, що одночасно спорожнюються.

Площу прохідного перерізу труб системи аврійного зливу та вихідного патрубка апарата визначають за формулою:

$$f_{\text{тр}} = f_{\text{вих}} = 0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2, \quad (6.28)$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м.

Під час аварійного пошкодження, руйнування технологічного обладнання, перекидання ємкісних апаратів та в інших подібних ситуаціях пожежонебезпечні рідини розливаються по виробничих площах. Максимальну площу розливу рідини, яка дорівнює площі дзеркала випаровування, визначають за формулою (3.12).

## 6.2 Методика розв’язання основних типів задач

**Задача 6.2.1.** Визначити критичний діаметр отворів сітчастого вогнеперешкоджувача, який встановлено на лінії аварійного стравлювання горючого газу з апарата. Горючий газ – пропан, температура газу  $t_p=40$  °С; тиск у лінії  $P_p=0,3$  МПа.

**Розв’язання:**

1. Запишемо реакцію горіння пропану:



2. Визначаємо концентрацію пропану у вихідній суміші стехіометричного складу:

$$\varphi_r = \frac{1}{\sum_{i=1}^n n_i} = \frac{1}{1 + 5 \cdot (1 + 3,76)} = 0,04 \text{ об.частки або } 4 \% \text{ об,}$$

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

3. Визначаємо коефіцієнт теплопровідності газоповітряної суміші за формулою (6.2):

$$\lambda = \varphi_r \cdot \lambda_r + (1 - \varphi_r) \cdot \lambda_n = 0,040 \cdot 1,9 \cdot 10^{-2} + (1 - 0,040) \cdot 2,59 \cdot 10^{-2} = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$$

де  $\lambda_r = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$  – коефіцієнт теплопровідності пропану (табл. 11 додатка);

$\lambda_n = 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря (табл. 16 додатка).

4. Визначаємо питому теплоємність пропаноповітряної суміші за формулою (6.4):

$$C_p = \varphi_r \cdot C_{p,r} + (1 - \varphi_r) \cdot C_{p,n} = 0,04 \cdot 1,667 + (1 - 0,04) \cdot 1005 = 1031 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

де  $C_{p,r} = 1667 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$  – питома теплоємність пропану;

$C_{p,n} = 1005 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$  – питома теплоємність повітря.

5. Розраховуємо питому газову сталу горючої пропаноповітряної суміші за формулою (6.5):

$$R = \frac{8314,31}{\varphi_r \cdot M_r + (1 - \varphi_r) \cdot M_n} = \frac{8314,31}{0,040 \cdot 44,1 + (1 - 0,040) \cdot 29} = 280,85 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

де  $\varphi_r = 0,040$  об. частки – концентрація пропану в суміші;

$M_r = 44,1 \text{ кг/кмоль}$  – молекулярна маса пропану;

$M_n$  – молекулярна маса повітря, дорівнює  $29 \text{ кг/кмоль}$ .

6. Визначаємо критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача за формулою (6.1):

$$d_{кр} = \frac{65 \cdot 280,85 \cdot (40 + 273) \cdot 2,56 \cdot 10^{-2}}{0,39 \cdot 1031 \cdot 3 \cdot 10^5} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,2 \text{ мм.}$$

Таким чином, критичний діаметр каналів вогнеперешкоджувача, який встановлено на лінії аварійного стравлювання горючого газу (пропану), становить  $1,2 \text{ мм}$ .

**Задача 6.2.2.** Обґрунтувати розрахунком виконання умов аварійного зливу горючої рідини з резервуара. Горюча рідина – ацетон; резервуар – вертикальний апарат квадратного перерізу; розміри сторін у плані  $a=1,5$  м; висота  $h=3$  м; тривалість операцій  $\tau_{\text{опер}} = 1$  хв; допустима тривалість аварійного зливу  $[\tau]_{\text{зл}}=15$  хв; відстань по вертикалі від рівня рідини до аварійної ємності  $H_1=6,5$  м;  $H_2=4,1$  м;  $P_{\text{р.н}}=0,2$  МПа;  $\varphi_{\text{сист}}=0,22$ ;  $d_{\text{вих}}=100$  мм.

**Розв'язання:**

1. Визначаємо площу поперечного перерізу резервуара:

$$F=a^2=1,5^2=2,25 \text{ м}^2.$$

2. Розраховуємо площу прохідного перерізу труб системи аварійного зливу та вихідного патрубка апарата за формулою (6.28):

$$f_{\text{тр}} = f_{\text{вих}} = 0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2 = 0,785 \cdot 0,1^2 = 0,00785 \text{ м}^2,$$

де  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м.

3. Визначаємо величини  $H_1$  та  $H_2$  за формулою (3.3), враховуючи, що горюча рідина у резервуарі знаходиться під тиском  $P_{\text{р.н}}=0,2$  МПа:

$$H_1 = \frac{P_{\text{р.н}}}{\rho_t \cdot g} + H = \frac{2 \cdot 10^5}{790,5 \cdot 9,81} + 6,5 = 32,29 \text{ м},$$

$$H_2 = \frac{P_{\text{р.н}}}{\rho_t \cdot g} + H = \frac{2 \cdot 10^5}{790,5 \cdot 9,81} + 4,1 = 29,89 \text{ м},$$

де  $H$  – висота стовпа рідини, м.

4. Обчислюємо тривалість спорожнення апарата за формулою (6.19):

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

5. Тоді тривалість аварійного зливу становить згідно формули (6.17):

$$[\tau]_{\text{зл}} = \tau_{\text{спор}} + \tau_{\text{опер}} = 126,8 + 60 = 186,6 \text{ с},$$

де  $\tau_{\text{опер}}=60$  с – за умовою задачі.



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

**Задача 6.2.3.** Визначити діаметр аварійного трубопроводу за умов, що тривалість спорожнення апарата самопливом не повинна перевищувати 5 хвилин (300 с). Об'єм горючої рідини, яку необхідно злити,  $V_p = 3 \text{ м}^3$ ;  $H_1 = 7 \text{ м}$ ;  $H_2 = 5 \text{ м}$ . Аварійний трубопровід має вхід з гострими кромками ( $\xi_{вх} = 0,5$ ); трійник для бокового потоку ( $\xi_{тр} = 1,2$ ); гідрозатвір ( $\xi_r = 1,3$ ); чотири повороти коліна з кутом повороту  $90^\circ$  при  $R = 2d_{тр}$ ;  $\xi_n = 0,5$ . Величину коефіцієнта місцевого опору виходу рідини з трубопроводу приймаємо  $\xi_{вих} = 0,5$ .

**Розв'язання:**

1. Визначаємо сумарний коефіцієнт місцевих опорів за формулою (6.23):

$$\xi_c = \sum_{i=1}^n N_i \xi_i = \xi_{вх} + \xi_{тр} + n \cdot \xi_n + \xi_{вих} = 0,5 + 1,2 + 1,3 + 4 \cdot 0,5 + 0,5 = 5,5,$$

де  $n = 4$  – кількість колін у трубопроводі.

2. Визначаємо коефіцієнт опору системи за формулою (6.21):

$$\xi_{сист} = \xi_c = 5,5,$$

де  $\xi_c$  – сумарний коефіцієнт місцевих опорів;

3. Розраховуємо коефіцієнт витрати системи за формулою (6.20):

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

4. Обчислюємо діаметр аварійного трубопроводу за формулою (6.26):

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

$$0,758 \cdot \sqrt{\frac{3}{300 \cdot 0,239 \cdot (\sqrt{7} + \sqrt{5})}} = 0,70 \text{ м} = 70 \text{ мм}.$$

Таким чином, діаметр аварійного трубопроводу за наведеними умовами аварійного зливу становить 70 мм.

**Задача 6.2.4.** Визначити площу розливу горючої рідини на підлозі виробничого приміщення під час повного руйнування апарата з ацетоном. На момент аварії здійснювалось закачування ацетону до апарата відцентровим насосом по трубопроводу діаметром  $d_{\text{вн}}=0,05$  м. Вимкнення насоса і засувки на трубопроводі є ручним. Об'єм апарата  $V_{\text{ап}}=0,5$  м<sup>3</sup>, ступінь його заповнення продуктом  $\varepsilon=0,7$ , продуктивність насоса  $q_{\text{н}}=0,3$  л/с, довжина трубопроводу, який живить апарат,  $l_{\text{тр}}=10$  м, температура продукту 20 °С.

**Розв'язання:**

1. Приймаємо тривалість вимкнення насоса і засувки у разі аварії  $\tau = 300$  с (ручний режим).
2. Визначаємо площу перерізу нагнітального трубопроводу:

$$f_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ м}^2.$$

3. Розраховуємо об'єм ацетону, що виходить до виробничого приміщення під час повної руйнації апарата, за формулою (3.9):

$$V_p = \left( V_{\text{ап}} \cdot \varepsilon + \sum_i^n g_{i,\text{н}} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k L_{j,\text{тр}} \cdot f_{j,\text{тр}} \right) = (0,5 \cdot 0,7 + 0,0003 \cdot 300 + 10 \cdot 0,00196) = 0,459 \text{ м}^3.$$

4. Визначаємо площу розливу ацетону – легкозаймистої рідини, виходячи з того, що 1 л ацетону може розлитися на площі 1 м<sup>2</sup> підлоги приміщення ( $f_p=1000$  м<sup>-1</sup>) [5]:

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

де  $f_p$  – питома площа розливу рідини, м<sup>-1</sup>.

Таким чином, внаслідок повного руйнування апарата з ацетоном площа розливу горючої рідини на підлозі виробничого приміщення становить 459 м<sup>2</sup>.

**Контрольні завдання**

**Завдання 6.3.1.** Під час візуального огляду вогнеперешкоджувального елемента касетного вогнеперешкоджувача типу ВП, встановленого на продувній лінії апарата, було виявлено деформацію й пошкодження деяких каналів вогнеперешкоджувача. Заміри показали, що мак-

симальний діаметр каналів досягає  $d$  мм. Проаналізувати небезпеку поширення вогню по продувній лінії, на якій встановлено вогнеперешкоджувач (небезпека виникнення детонаційного горіння відсутня). Вид горючої речовини та інші дані для розрахунку наведені у табл. 6.1. Тиск газоповітряної суміші у продувній лінії є близьким до атмосферного.

Таблиця 6.1– Показники для виконання завдання 6.3.1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Горюча речовина	Аміак	Етилен	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
Температура, °С	22	10	15	20	18	21	24	19	16	32

**Завдання 6.3.2.** Провести перевірочний розрахунок системи аварійного зливу самопливом з вертикальних циліндричних апаратів. У разі необхідності запропонувати обгрунтовані розрахунком заходи, що забезпечують умови виконання аварійного зливу. Довжина лінійних ділянок трубопроводів (м):  $l_1=0,5$ ;  $l_2=2,6$ ;  $l_3=2$ ;  $l_4=0,6$ ;  $l_5=5,4$ ;  $l_6=1,5$ ;  $l_7=2,0$ ;  $l_8=5,6$ ;  $l_9=0,7$ . Внутрішній діаметр аварійного трубопроводу становить 80 мм, товщина стінки – 3 мм. Вихідні дані для розрахунку наведені у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Показники для виконання завдання 6.3.2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рідина	Ацетон	Етанол	Бензол	Метанол	Толуол	Ксилол	Оцтова кислота	Хлорбензол	Стирол	Етил-ацетат
Робоча температура, °С	15	20	15	20	25	30	20	25	15	15
Допустимий (абсолютний тиск) в апараті, МПа.	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,4
Діаметр апарата, м	1,2	1,1	1,8	2,4	1,6	1,5	1,5	1,2	2,2	3,2
Висота апарата, м	2,0	1,8	2,0	2,2	1,8	2,1	2,5	2,0	2,6	3,0
Ступінь заповнення апарата	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6
Стан аварійного трубопроводу	Нові сталеві труби					Старі сталеві труби				
Допустима тривалість аварійного режиму, хв.	10	12	15	18	20	10	12	15	18	20
Приведення системи у дію	Руч.	Авт.	Руч.	Авт.	Руч.	Руч.	Авт.	Руч.	Авт.	Руч.

**Завдання 6.3.3.** Оцінити діаметр аварійного трубопроводу за умови, що тривалість спорожнення апарата не повинна перевищувати 5 хв. Вихідні дані для розрахунку наведені у табл. 6.3. Аварійний трубопровід має вхід із плавним закругленням, трійник для прямого потоку, заховку, гідравлічний затвор, 5 плавних колін (поворотів) з кутом повороту  $90^\circ$  при  $R=5d_{тр}$ . Величину коефіцієнта місцевого опору виходу рідини із трубопроводів прийняти рівною 0,5.

Таблиця 6.3 – Показники для виконання завдання 6.3.3

№ варіанта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм рідини, що необхідно злити, м <sup>3</sup>		2	3	4	2	3	4	2	3	4	5
Висота стовпа рідини, м	H <sub>1</sub>	4	5	6	4	6	8	6	8	10	12
	H <sub>2</sub>	2	3	3	2	3	5	4	6	7	8

**Завдання 6.3.4.** У виробничому приміщенні площею S сталася аварія (повне руйнування) змішувача під час закачування до нього продукту (емалі). Оцінити можливість проникнення емалі до сусідніх приміщень через дверні отвори з порогами висотою h, за необхідності запропонувати обгрунтовані розрахунками заходи протипожежного захисту. Вид розчинника в емалі, його концентрація, геометричний об'єм апарата V<sub>ап</sub>, ступінь його заповнення на момент аварії ε, продуктивність закачування апарата емаллю, спосіб вимкнення насоса та інші дані наведені у табл. 6.4. Температура емалі 25 °С.

Таблиця 6.4 – Показники для виконання завдання 6.3.4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розчинник (концентрація, % мас)	Бензол (60)	Метанол (50)	Пропанол (70)	Толуол (65)	Ацетон (75)	Бензол (80)	Етанол (68)	Толуол (72)	Метанол (70)	Ацетон (50)
V <sub>ап</sub> , м <sup>3</sup>	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, м <sup>3</sup> /хв	0,7	0,4	3,2	2,2	0	2,0	3,4	2,0	1,6	2,8
Спосіб вимкнення насоса	Ручний		Автомат.		Ручний		Автомат.		Ручний	
S, м <sup>2</sup>	65		85		50		70		120	
h, м	0,1	0,05	0,12	0,08	0,06	0,11	0,14	0,08	0,09	0,13

**Примітка.** Тривалість вимкнення насоса визначити згідно норм [5].

**Завдання 6.3.5.** Запропонувати обґрунтовані розрахунком заходи протипожежного захисту, спрямовані на запобігання розливу горючої рідини по підлозі виробничого приміщення під час повного руйнування апарата. Аварія виникла під час закачування рідини до апарата відцентровим насосом по трубопроводу діаметром 0,07 м. Вимкнення насоса і засувки на трубопроводі ручне. Геометричний об'єм апарата, ступінь його заповнення (на момент аварії) пожежонебезпечною рідиною, а також інші дані для розрахунку наведені у табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Показники для виконання завдання 6.3.5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рідина	Ацетон	Толуол	Етанол	Метанол	Бензол	Ацетон	Толуол	Етанол	Метанол	Бензол
Об'єм апарата, м <sup>3</sup>	0,5	0,8	1,0	1,5	1,8	2,0	2,3	2,9	3,0	3,5
Ступінь заповнення, ε	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 та повітря, °С	18	20	25	17	22	23	21	26	19	24
Площа підлоги, м <sup>2</sup>	140	120	100	80	150	130	110	160	170	180

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України.
2. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
3. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
4. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.
5. ДСТУ Б.В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Наказ Мінрегіону України від 15.06.2016 №158.
6. Михайлюк О.П. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів/ О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, Г.О. Мозговий.– Х.: ХНАДУ, 2014 – 380с.
7. Михайлюк О.П. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів/ О.П. Михайлюк, В.М. Сирих. – Харків.: ХІПБ МВС України, 1998 – 119 с.
8. Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования/ В.И. Водяник. – Киев, 1979 - 189 с.
9. Алексеев М.В. Пожарная профилактика технологических процессов производств/ М.В. Алексеев, О.М. Волков, Н.Ф. Шатров. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986 – 370 с.
10. Шкоруп О.І. Посібник щодо застосування НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою»/ І.О. Шкоруп, О.О. Сізіков, В.С. Куликівський, М.В. Білошицький, К.П. Чеботаєв, О.Д. Гудович, Н.В. Кравченко. - Київ, 2009.
11. Шебеко Ю.Н. Пособие по применению НПБ 105-95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» при рассмотрении проектно-сметной документации/ Ю.Н. Шебеко, И.М. Смолин, И.С. Молчадский. - М.: ВНИИПО, 1998 – 119 с.
12. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2 кн./А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др.–М.: Химия, 1990. Кн. 1– 496 с. Кн. 2 – 384 с.
13. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в двух частях/ А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2004.

## ДОДАТКИ

Таблиця 1 – Показники пожежної небезпеки деяких горючих речовин

Речовина (клас)	M, кг/кмоль	t <sub>сп</sub> , °C	t <sub>ссп</sub> , °C	ТМПП, °C		КМПП, об.частки		W <sub>min</sub> , мДж	D <sub>o</sub> ·10 <sup>6</sup> м <sup>2</sup> /с	n	U <sub>n</sub> , м/с	ГДК** мг/м <sup>3</sup>
				нижн.	верх.	нижн.	верх.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Аміак (ГГ)	17,03	-	650	-	-	0,15	0,28	680	19,8	1,88	0,23	20
Ацетилен (ГГ)*	26,04	-	335	-	-	0,025	0,81	-	14,0	1,79	1,57	-
Ацетон (ЛЗР)	58,08	-18	535	-20	6	0,027	0,13	0,41	10,9	1,90	0,44	200
Бензол (ЛЗР)	78,11	-11	560	-14	13	0,0143	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	35	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	223	-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	-
Діетиловий ефір (ЛЗР)	74,12	-41	180	-44	16	0,017	0,49	0,2	7,72	2,14	0,49	300
н-Додекан (ГР)	170,34	77	202	76	120	0,0068	0,048	-	3,99	1,88	0,4	-
Ізобутиловий спирт ЛЗР)	74,12	28	390	26	60	0,018	0,114	-	8,4	1,87	0,3	10
Ізооктан (ЛЗР)	114,23	10	411	-	-	0,009	0,058	1,35	5,03	1,77	0,49	100
Ізопропілбензол (ЛЗР)	120,19	37	424	37	74	0,0088	0,06	-	6,15	1,87	0,4	50
Ізопропіловий спирт (ЛЗР)	60,1	14	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	-
Метиловий 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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пентадекан (ГР)	212,42	115	203	114	163	0,005	0,041	-	3,58	1,90	0,4	-
н-Пентан (ЛЗР)	72,15	-44	286	-48	-23	0,0147	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	-	-	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	-
Оцтова кислота (ЛЗР)	60,05	54	465	35	76	0,04	0,19	-	10,7	1,90	0,4	5
н-Ундекан (ГР)	156,31	62	205	62	104	0,006	0,051	-	4,17	1,88	0,403	-
Хлорбензол (ЛЗР)	112,56	29	637	28	62	0,014	0,098	-	6,28	2,09	0,3	50
Циклогексан (ЛЗР)	84,16	-17	259	-17	20	0,013	0,078	0,22	6,46	1,89	0,436	80
Етан (ГГ)	30,07	-	515	-	-	0,029	0,15	0,24	12,1	1,78	0,476	-
Етилацетат (ЛЗР)	88,1	-3	446	-6	28	0,02	0,114	0,282	8,2	1,89	0,39	200
Етилбензол (ЛЗР)	106,16	24	431	20	59	0,01	0,068	0,2	5,7	1,87	0,4	1
Етилен (ГГ)*	28,05	-	435	-	-	0,027	0,34	0,12	10,9	1,80	0,735	-
Етиловий спирт (ЛЗР)	46,07	16	400	11	41	0,036	0,177	0,246	13,2	1,51	0,556	1000
Етилцеллозольв (ЛЗР)	90,1	52	235	39	81	0,018	0,157	0,15	7,21	1,86	0,474	-
Бензин АІ-92 "Л" (ЛЗР)	98,2	-37	380	-37	-10	0,0098	0,055	0,3	6,15	2,0	0,44	100
Дизельне пальне "Л"(ГР)	203,6	65	210	58	108	0,005	0,062	-	4,81	2,0	0,4	-
Гас КО-22 (ЛЗР)	153,1	50	245	43	82	0,007	0,068	-	1,95	2,0	0,4	-
Уайт-спірит (ЛЗР)	147,3	43	250	33	68	0,007	0,056	0,33	4,97	2,0	0,52	-

\* речовина, здатна до вибухового розкладання за підвищеного тиску та дії потужних джерел запалювання;

\*\* у повітрі виробничої зони.

**Примітка:** Будьте уважні! Коефіцієнт дифузії  $D_0$  у таблиці вказано в ступені  $10^6$ . Не забудьте розділити на  $10^6$ .



Таблиця 2 – Показники пожежної небезпеки деяких горючих рідин і газів

Речовина	Хімічна формула	Молярна маса, кг/кмоль	Температура спалаху °С	Температура самоспалахування, °С	Константи рівняння Антуана			Нижня концентраційна межа поширення полум'я, %(об.)	Теплота згоряння, кДж/кг
					А	В	Са		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амілацетат	$C_7H_{14}O_2$	130,196	+43	+290	6,29350	1579,510	221,365	1,08	29879
Амилен	$C_5H_{10}$	70,134	<-18	+273	5,91048	1014,294	229,783	1,49	45017
н-Аміловий спирт	$C_5H_{12}O$	88,149	+48	+300	6,3073	1287,625	161,330	1,46	38385
Аміак	$NH_3$	17,03	-	+650	-	-	-	15,0	18585
Анілін	$C_6H_7N$	93,128	+73	+617	6,04622	1457,02	176,195	1,3	32386
Ацетальдегід	$C_2H_4O$	44,053	-40	+172	6,31653	1093,537	233,413	4,12	27071
Ацетилен	$C_2H_2$	26,038	-	+335	-	-	-	2,5	49965
Ацетон	$C_3H_6O$	58,08	-18	+535	6,37551	1281,721	237,086	2,7	31360
Бензиловий спирт	$C_7H_8O$	108,15	+90	+415	-	-	-	1,3	-
Бензол	$C_6H_6$	78,113	-11	+560	5,61391	902,275	178,099	1,43	40576
1,3-Бутадиєн	$C_4H_6$	54,091	-	+430	-	-	-	2,0	44573
н-Бутан	$C_4H_{10}$	58,123	-69	+405	6,00525	968,098	242,555	1,8	45713
1-Бутен	$C_4H_8$	56,107	-	+384	-	-	-	1,6	45317
н-Бутилацетат	$C_6H_{12}O_2$	116,16	+29	+330	6,25205	1430,418	210,745	1,35	28280
н-Бутиловий спирт	$C_4H_{10}O$	74,122	+35	+340	8,72232	2664,684	279,638	1,8	36805
Вінілхлорид	$C_2H_3Cl$	62,499	-	+470	6,0161	905,008	239,475	3,6	18496
Водень	$H_2$	2,016	-	+510	-	-	-	4,12	119841
н-Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	226,44	+128	+207	5,91242	1656,405	136,869	0,47	44312
н-Гексан	$C_6H_{14}$	86,177	-23	+233	5,99517	1166,274	223,661	1,24	45105
н-Гексиловий спирт	$C_6H_{14}O$	102,17	+60	+285	6,17894	1293,831	152,631	1,2	39587
Гептан	$C_7H_{16}$	100,203	-4	+223	6,07647	1295,405	219,819	1,07	44919
Гідразин	$N_2H_4$	32,045	+38	+132	7,99805	2266,447	266,316	4,7	14644
Гліцерин	$C_2H_8O_3$	92,1	+198	+400	8,177393	3074,220	214,712	2,6	16102
Декан	$C_{10}H_{22}$	142,28	+47	+230	6,52023	1809,975	227,700	0,7	44602

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дивініловий ефір	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	70,1	-30	+360	-	-	-	1,7	32610
N, N-Диметилформаїд	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ON	73,1	+53	+440	6,15939	1482,985	204,342	2,35	-
1,4-Діоксан	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	88,1	+11	+375	6 64091	1632,425	250,725	2,0	-
1,2-Дихлоретан	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	98,96	+9	+413	6,78615	1640,179	259,715	6,2	10873
Диетиламін	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N	73,14	-14	+310	6,34794	1267,557	236,329	1,78	34876
Диетиловий ефір	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74,12	-41	+180	6,12270	1098,945	232,372	1,7	34147
н-Додекан	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170,337	+77	+202	7,29574	2463,739	253,884	0,63	44470
Ізобутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,123	-76	+462	5,95318	916,054	243,783	1,81	45578
Ізобутилен	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,11	-	+465	-	-	-	1,78	45928
Ізобутиловий спирт	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	74,12	+28	+390	7,83005	2058,392	245,642	1,8	36743
Ізопентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,15	-52	+432	5,91799	1022,551	233,493	1,36	45239
Ізопропілбензол	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120,20	+37	+424	6,06756	1461,643	207,56	0,88	46663
Ізопропіловий спирт	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	60,09	+14	+430	7,51055	1733,00	232,380	2,23	34139
м-Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	+28	+530	6,13329	1461,925	215,073	1,1	52829
о-Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	+31	+460	6,28893	1575,114	223,579	1,0	41217
п-Ксилол	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106,17	+26	+528	6,25485	1537,082	223,608	1,1	41207
Метан	CH <sub>4</sub>	16,04	-	+537	5,68923	380,224	264,804	5,28	50000
Метиловий спирт	CH <sub>4</sub> O	32,04	+6	+440	7,3527	1660,454	245,818	6,98	23839
Метилпропілкетон	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86,133	+6	+452	6,98913	1870,4	273,2	1,49	33879
Метилетилкетон	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72,107	-6	+514	7,02453	1292,791	232,340	1,90	-
Нафталін	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128,06	+80	+520	9,67944	3123,337	243,569	0,9	39435
н-Нонан	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128,257	+31	+205	6,17776	1510,695	211,502	0,78	44684
Оксид вуглецю	CO	28,01	-	+605	-	-	-	12,5	10104
Оксид етилену	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44,05	-18	+430	-	-	-	3,2	27696
Н-Октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,230	+14	+215	6,09396	1379,556	211,896	0,9	44787
Н-Пентадекан	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	212,42	+115	+203	6,0673	1739,084	157,545	0,5	44342
Н-Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,150	-44	+286	5,97208	1062,555	231,805	1,47	45350
γ-Піколін	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93,128	+39	+578	6,44382	1632,315	244,787	1,4	36702

## Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Піридин	$C_5H_5N$	79,10	+20	+530	5,91684	1217,730	196,342	1,8	35676
Пропан	$C_3H_8$	44,096	-96	+470	5,95547	813,864	248,116	2,3	46353
Пропілен	$C_3H_6$	42,080	-	+455	5,94852	786,532	247,243	2,4	45604
н-Пропіловий спирт	$C_3H_8O$	60,09	+23	+371	7,44201	1751,981	225,125	2,3	34405
Сірководень	$H_2S$	34,076	-	+246	-	-	-	4,3	-
Сірковуглець	$CS_2$	76,14	-43	+102	6,12537	1202,471	245,616	1,0	14020
Стирол	$C_8H_8$	104,14	+30	+490	7,06542	2113,057	272,986	1,1	43888
Тетрагідрофуран	$C_4H_8O$	72,1	-20	+250	6,12008	1202,29	226,254	1,8	34730
н-Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	198,39	+103	+201	6,40007	1950,497	190,513	0,5	44377
Толуол	$C_7H_8$	92,140	+7	+535	6,0507	1328,171	217,713	1,27	40936
н-Тридекан	$C_{13}H_{28}$	184,36	+90	+204	7,09388	2468,910	250,310	0,58	44424
2,2,4-Триметилпентан	$C_8H_{18}$	114,230	-4	+411	5,93682	1257,84	220,735	1,0	44647
Оцтова кислота	$C_2H_4O_2$	60,05	+54	+465	7,10337	1906,53	255,973	4,0	13097
н-Ундекан	$C_{11}H_{24}$	156,31	+62	+205	6,80501	2102,959	242,574	0,6	44527
Формальдегід	$CH_2O$	30,03	-	+430	5,40973	607,399	197,626	7,0	19007
Фталевий ангідрид	$C_8H_4O_3$	148,1	+153	+580	7,12439	2879,067	277,501	1,7	-
Хлорбензол	$C_6H_5Cl$	112,56	+29	+637	6,38605	1607,316	235,351	1,4	27315
Хлоретан	$C_2H_5Cl$	64,51	-50	+510	6,11140	1030,007	238,612	3,8	19392
Циклогексан	$C_6H_{12}$	84,16	-17	+259	5,96991	1203,526	222,863	1,3	43833
Етан	$C_2H_6$	30,069	-	+515	-	-	-	2,9	52413
Етилацетат	$C_4H_8O_2$	88,10	-3	+446	6,22672	1244,951	217,881	2,0	23587
Етилбензол	$C_8H_{10}$	106,16	+20	+431	6,35879	1590,660	229,581	1,0	41323
Етилен	$C_2H_4$	28,05	-	+435	-	-	-	2,7	46988
Етиленгліколь	$C_2H_6O_2$	62,068	+111	+412	8,13754	2753,183	252,009	4,29	19329
Етиловий спирт	$C_2H_6O$	46,07	+13	+400	7,81158	1918,508	252,125	3,6	30562
Етилцелозольв	$C_4H_{10}O_2$	90,1	+40	+235	7,86626	2392,56	273,15	1,8	26382

180 Таблиця 3 – Тиск насичених парів деяких індивідуальних пожежонебезпечних рідин, Па

Рідина	Температура, К								
	133,3	1333,2	2666,4	5332,0	13332,2	26664,4	53328,8	101325	202650
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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
Бутиловий спирт	272,0	303,4	314,6	326,6	343,6	357,5	374,0	390,6	413,0
н-Гексадекан	378,4	423,0	437,8	454,4	481,6	504,9	531,4	560,6	-
н-Гексан	219,2	248,2	259,0	270,9	289,0	304,8	322,8	341,8	366,2
н-Гептан	239,2	271,1	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	401,0	423,1	446,2	-
Діетиловий 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	286,7	297,8	310,0	328,0	343,4	360,6	379,5	-
Ізопропілбензол	279,4	316,5	330,0	344,8	367,2	386,6	408,8	432,4	-
Ізопропіловий спирт	299,2	275,6	285,8	297,0	312,6	326,2	341,0	355,7	374,4
н-Ксилол	265,0	300,4	313,2	327,6	349,1	367,8	389,1	411,4	-
Метиловий спирт	229,2	257,0	267,2	278,2	294,4	308,0	323,9	337,2	355,2
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	224,0	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	475,0	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	-
Оцтова кислота	256,0	290,6	303,1	316,2	336,2	353,2	372,2	391,3	416,7
н-Ундека	304,6	345,4	359,5	376,3	400,0	421,2	443,7	467,6	-

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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	336,6	351,5	370,6

Таблиця 4 – Густина пожежонебезпечних рідин (кг/м<sup>3</sup>) за різних температур

t, °C	Бензол	Метиловий спирт	Пропіловий спирт	Толуол	Оцтова кислота	Етиловий спирт	Ацетон
0	900,1	809,7	819,3	884,9	-	806,2	813,0
10	889,5	800,0	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 – Розрахункові формули для розв'язання задач на газові суміші

Визначення складу суміші парів (газів)	Перерахунок із одного складу в інший	Густина суміші, $\rho$	Уявна молекулярна маса суміші, $M$	Питома газова стала суміші, $R$	Парціальний тиск компонентів, $P_i$
У масових частках, $C_i$	$C_i = \frac{\varphi_i \cdot M_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i}$	$\rho = \frac{1}{\sum_{i=1}^n C_i / \rho_i}$	$M = \frac{1}{\sum_{i=1}^n C_i / M_i}$	$R = 8314.31 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{M_i}$	$P_i = C_i \cdot \frac{R_i}{R} \cdot P_p$
В об'ємних частках, $\varphi_i$	$\varphi_i = \frac{C_i / M_i}{\sum_{i=1}^n C_i / M_i}$	$\rho = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot \rho_i$	$M = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i$	$R = \frac{8314.31}{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot M_i}$	$P_i = \varphi_i \cdot P_p$

**Примітка:**  $i$  – індекс, що характеризує стан  $i$ -го компонента суміші;  $n$  – кількість компонентів у суміші;  $P_p$  – загальний (робочий) тиск системи.

Таблиця 6 – Значення показника адіабати для деяких газів і парів

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	$k$	Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	$k$		
Аміак	15	1,31	Повітря	0	1,403		
	100	1,28		100	1,399		
				1000	1,365		
Ацетилен	15	1,26	Метан	15	1,31		
	Бензол	100		1,10	Оксид вуглецю	15	1,404
		100		1,324		300	1,379
Водяна пара	200	1,310	Сірководень	15		1,32	
	300	1,304		300	1,28		
	Вуглець	-20		1,42	Етанол	90	1,13
+15		1,41	Оцтова кислота	135		1,15	
200		1,398		Етан		15	1,22
Метанол	77	1,203			50	1,21	
	100	1,26	Етилен		15	1,255	
				100	1,18		

Таблиця 7 – Значення коефіцієнта ( $K_p$ ) залежно від тиску газів чи парів

Тиск $P \times 10^{-5}$ , Па	Менш 2	2	7	17	41	161	401	1001
Коефіцієнт $K_p \times 10^5$	3,36	4,61	5,06	5,25	6,94	8,06	8,61	10,28

**Примітка:** Будьте уважні! Тиск  $P$  у таблиці вказано в ступені  $10^{-5}$ . Не забудьте помножити на  $10^5$ .

Таблиця 8 – Значення коефіцієнта ( $\eta$ ) залежно від температури та швидкості руху повітря

Швидкість повітря-ного потоку в приміщенні, м/с	Температура повітря у приміщенні, °С				
	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 9 – Значення температури спалахування водяних розчинів пожежонебезпечних рідин за різної концентрації

Пожежонебезпечна рідина	Концентрація, % мас.							
	10	25	40	55	70	80	85	90
Ацетон	11	-2	-9	-12	-14	-16	-17	-18
Метилловий спирт	59	46	30	23	18	13	11	9
Ізопропіловий спирт	40	34	34	34	31	31	30	28
Етиловий спирт	50	34	28	26	22	18	17	16
Оцтова кислота	-	-	-	-	63	60	57	54

Таблиця 10 – Фізичні параметри води та водяної пари на лінії насичення

t, °C	Вода					Водяна пара				
	$P \cdot 10^{-5}$ , Па	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_p$ , кДж/(кг·К)	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$P \cdot 10^{-5}$ , Па	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_p$ , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$ , Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0,013	999,9	4,212	0,560	1,789	0,0061	0,00485	1,861	1,697	1888
10	0,013	999,7	4,191	0,580	1,306	0,0123	0,00939	1,869	1,770	1011
20	0,013	998,2	4,183	0,597	1,006	0,0234	0,01729	1,877	1,824	563,7
30	0,013	995,7	4,174	0,612	0,805	0,0424	0,03037	1,885	1,883	328,9
40	0,013	992,2	4,174	0,627	0,659	0,0738	0,05117	1,895	1,953	200,7
50	0,013	988,1	4,174	0,640	0,556	0,1233	0,08303	1,907	2,034	127,5
60	0,013	983,1	4,179	0,650	0,478	0,1992	0,1302	1,923	2,122	83,88
70	0,013	977,8	4,187	0,662	0,415	0,3116	0,1981	1,942	2,214	56,90
80	0,013	971,8	4,195	0,669	0,365	0,4736	0,2932	1,967	2,309	39,63
90	0,013	965,3	4,208	0,676	0,326	0,7011	0,4232	1,997	2,407	28,26
100	0,013	958,4	4,220	0,684	0,295	1,013	0,598	2,135	2,372	20,02
110	1,43	951,0	4,233	0,685	0,272	1,43	0,826	2,177	2,489	15,07
120	1,98	943,1	4,250	0,686	0,252	1,98	1,121	2,206	2,593	11,46
130	2,70	934,8	4,266	0,686	0,233	2,7	1,496	2,257	2,686	8,85
140	3,61	926,1	4,287	0,685	0,217	3,61	1,966	2,315	2,791	6,86
150	4,76	917,0	4,313	0,684	0,203	4,76	2,547	2,395	2,884	5,47
160	6,18	907,4	4,346	0,681	0,191	6,18	3,258	2,479	3,012	4,39
170	7,92	897,3	4,380	0,676	0,181	7,92	4,122	2,583	3,128	3,57
180	10,03	886,9	4,417	0,672	0,173	10,03	5,157	2,709	3,268	2,93
190	12,55	876,0	4,459	0,664	0,165	12,55	6,394	2,856	3,419	2,44
200	15,55	863,0	4,505	0,658	0,158	15,55	7,862	3,023	3,547	2,03
210	19,08	852,8	4,555	0,649	0,153	19,08	9,588	3,199	3,722	1,71
220	23,20	840,3	4,614	0,640	0,148	23,20	11,62	3,408	3,896	1,45
230	27,98	827,3	4,681	0,629	0,145	27,98	13,99	3,634	4,094	1,24
240	33,48	813,6	4,76	0,617	1,141	33,48	16,76	3,881	4,291	1,06
250	39,76	799,0	4,87	0,605	0,137	39,78	19,98	4,158	4,512	0,913
260	46,94	784,0	4,98	0,593	0,135	46,94	23,72	4,468	4,803	0,794



Продовження таблиці 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
270	55,05	767,9	5,12	0,578	0,113	55,05	28,09	4,815	5,106	0,688
280	64,19	750,7	5,30	0,565	0,131	64,19	33,19	5,234	5,489	0,600
290	74,45	732,3	5,50	0,548	0,129	74,45	39,15	5,694	5,827	0,526
300	85,92	712,5	5,76	0,532	0,128	85,92	46,21	6,280	6,268	0,461
310	98,70	691,1	6,11	0,514	0,128	98,70	54,58	7,118	6,838	0,403
320	112,90	667,1	6,57	0,494	0,128	112,9	64,72	8,206	7,513	0,353
330	128,65	640,2	7,25	0,471	0,127	128,65	77,10	9,880	8,257	0,310
340	146,08	610,1	8,20	0,446	0,127	146,08	92,76	12,35	9,304	0,272
350	165,37	574,4	10,10	0,431	0,126	165,37	113,6	16,24	10,70	0,234
360	186,74	528,0	14,65	0,367	0,126	186,74	144,0	23,03	12,79	0,202
370	210,53	450,5	40,32	0,338	0,126	210,53	203,0	56,52	17,10	0,166

**Примітка:** Будьте уважні! Тиск  $P$  у таблиці вказано в ступені  $10^{-5}$ . Не забудьте помножити на  $10^5$ . Кінематична в'язкість  $\nu$  вказана в ступені  $10^6$ , а коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  – в ступені  $10^2$ . Не забудьте розділити на  $10^6$  та  $10^2$  відповідно.

Таблиця 11 – Фізичні властивості деяких горючих газів за атмосферного тиску ( $1 \cdot 10^5$  Па)

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

**Примітка:** Будьте уважні! Коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$  у таблиці вказано в ступені  $10^2$ , а динамічна в'язкість  $\mu$  – в ступені  $10^6$ . Не забудьте розділити на  $10^2$  та  $10^6$  відповідно.

Таблиця 12 – Динамічні коефіцієнти в'язкості рідин ( $\mu \times 10^3$ ), Па

t, °C	Ацетон	Бензол	Метилловий 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	-

**Примітка:** Будьте уважні! Значення коефіцієнта динамічної в'язкості необхідно розділити на 1000.

Таблиця 13 – Коефіцієнти об'ємного розширення скраплених газів ( $\beta \times 10^5$ ), K<sup>-1</sup>

t, °C	Аміак	Хлор	Вуглекислота	Сірководень
-40	174	153	-	157
-30	180	158	-	160
-20	185	165	300	164
-10	194	175	386	169
0	204	187	568	175
10	217	199	704	182
20	234	212	708	192
30	257	226	724	206
40	285	242	-	223
50	313	250	-	240
60	338	278	-	261

**Примітка.** Для пропану  $\beta = 300 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ; для бутану  $\beta = 200 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  (дані значення коефіцієнта об'ємного розширення необхідно помножити на  $10^5$ ). Значення коефіцієнта об'ємного розширення у таблиці необхідно розділити на  $10^5$ .

Таблиця 14 – Коефіцієнти об'ємного стиснення скраплених газів і води ( $\beta_{ст} \times 10^{11}$ ),  $\text{Па}^{-1}$

t, °C	Аміак	Хлор	Вуглекислота	Сірководень
0	111	130	824	118
10	123	149	1333	128
20	128	172	3564	141
30	158	200	11592	158
40	185	237	-	181
50	220	276	-	205
60	262	327	-	237

**Примітка.** Для пропану  $\beta_{ст} = 200 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ ; для бутану  $\beta_{ст} = 200 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ ; для води  $\beta_{ст} = 49 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ . Дані значення коефіцієнта об'ємного стиснення необхідно помножити на  $10^{11}$ . Значення коефіцієнта об'ємного стиснення у таблиці необхідно розділити на  $10^{11}$ .

Таблиця 15 – Механічні та фізичні властивості деяких матеріалів

Матеріал	Густина, $\rho$ $\text{кг/м}^3$	Коефіцієнт лінійного розширення - $\alpha \cdot 10^6$ , $\text{K}^{-1}$	Модуль пружності E $\cdot 10^{11}$ , Па	Коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	Питома теплоємність, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$
Сталь	7850	10,5–17,0	1,9–2,2	25–50	460
Бронза	8000	15,0–18,5	0,9–1,3	60–90	-
Мідь	8900	16,7	0,8–1,1	390	389
Латунь	8500	20,0	1,0	100–120	385
Чавун	7250	22,0	1,0–1,7	25–33	540
Титан	4500	8,4	1,14	16	-
Алюміній	2700	24,0	0,65–0,75	219	913

**Примітка.** Значення коефіцієнта лінійного розширення  $\alpha$  необхідно розділити на  $10^6$ , а значення модуля пружності E необхідно помножити на  $10^{11}$ .

Таблиця 16 – Фізичні параметри сухого повітря за атмосферного тиску ( $1,01325 \cdot 10^5$  Па)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$
-40	1,515	1,013	2,12	15,21
-20	1,395	1,009	2,28	16,91
0	1,295	1,005	2,44	17,17
20	1,205	1,005	2,59	18,15
40	1,128	1,005	2,76	19,13
60	1,060	1,005	2,90	20,11
80	1,000	1,009	3,05	21,09
100	0,946	1,009	3,21	21,88
120	0,898	1,009	3,24	22,86
140	0,854	1,013	3,49	23,74
160	0,815	1,017	3,64	24,52
180	0,779	1,022	3,78	25,31
200	0,776	1,026	3,94	26,00
250	0,674	1,038	4,27	27,37
300	0,615	1,047	4,61	29,72
350	0,566	1,059	4,91	31,39
400	0,524	1,068	5,21	33,06
500	0,456	1,093	5,74	36,20
600	0,404	1,114	6,22	39,14
700	0,362	1,135	6,71	41,79
800	0,329	1,156	7,18	44,34
900	0,301	1,172	7,63	46,70
1000	0,277	1,185	8,07	49,05
1100	0,257	1,198	8,50	51,21
1200	0,239	1,210	9,15	53,46

**Примітка.** Значення коефіцієнта  $\lambda$  необхідно розділити на  $10^2$ , а значення коефіцієнта  $\mu$  необхідно розділити на  $10^6$

Таблиця 17– Значення нормативних допустимих напружень  $\delta_{\text{доп}}^t$  (МПа) для вуглецевих та низьколегованих сталей

Розрахункова тем-пература стінки, °С	Марка сталі			
	Ст. 3	Ст. 10	20 і 30К	09Г2С і 16ГС
20	140	130	147	170
100	134	125	142	160
200	126	118	136	148
250	120	112	132	145
300	108	100	119	134
350	98	88	106	123
400	88	87	92	110
450	-	53	64	73

Таблиця 18 – Значення емпіричних констант для розрахунку умов теплового самозаймання матеріалів

Найменування речовин або матеріалів	Значення констант			
	$A_p$	$n_p$	$A_b$	$n_b$
Войлок будівельний	1,729	0,279	2,350	0,140
Гіпсотермін (крихта)	1,792	0,272	2,363	0,107
Борошно вітамінне хвойне	1,772	0,230	2,282	0,121
Борошно кормове	1,5067	0,3219	2,1027	0,2435
Тирса соснова	1,855	0,219	2,296	0,096
Вітамін В <sub>2</sub>	1,716	0,220	2,140	0,300
Диспергатор НФ	1,997	0,156	2,432	0,154
Іонообмінна смола СГ	2,146	0,106	2,350	0,048
Кормогризин - 10	1,757	0,231	2,229	0,198
Соломка пшенична	2,185	0,0167	2,301	0,035
Полінак	1,956	0,113	2,230	0,100

Таблиця 19 – Значення коефіцієнтів місцевих опорів

Вид опору	Значення коефіцієнта						
Несподіване розширення потоку	$\xi = (1 - f_1/f_2)^2$						
	$f_1/f_2$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	$\xi$	1	0,64	0,36	0,16	0,04	0
Несподіване звуження потоку	$\xi$	0,5	0,43	0,33	0,25	0,15	0
	$f_1$ і $f_2$ – площі перерізу трубопроводів						
Коліно	$\alpha$	90°		120°		135°	150°
	$\xi_{,к}$	1,1		0,55		0,35	0,2
Відвід (коліно із плавним заокругленням і $\alpha=90^\circ$ )	При $2 < R/d \leq 3$ $\xi_{,о}=0,5$ При $3 < R/d \leq 7$ $\xi_{,о}=0,3$						
Вхід до труби	З гострими краями $\xi_{вх}=0,5$						
	З плавним входом $\xi_{вх}=0,2$						
Вихід із труби	$\xi_{вих}=1$						
Засувка повністю відкрита	Умовний прохід, мм						
	Менше 175		175–300			Більше 300	
	Коефіцієнт $\xi_{в.в.}$						
	0,5		0,25			0,15	
Засувка прикрита на 1/2	$\xi_{в.п.} > 2$						
Гідрозатвор	$\xi_{г} = 2,5-3,2$						
Трійник для потоку: - прямого - бокового	$\xi_{т.п.}=0,5$						
	$\xi_{т.б.}=1,2$						

Таблиця 20 – Значення модуля пружності для вуглецевих і легованих сталей залежно від температури

Марка сталі	Модуль пружності ( $E \cdot 10^{-11}$ Па) за температури, °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	1,4	-	-
Легована аустенітного класу (ОХ18Н10Т та ін.)	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,91	1,86	1,81	1,75	1,68	1,61

**Примітка.** Значення модуля пружності  $E$  необхідно помножити на  $10^{11}$

Таблиця 21 – Значення температурного коефіцієнта ( $K_t$ )

Матеріал мембрани	Температура, °С									
	-100	-50	0	50	100	150	200	300	400	
Алюміній	1,35	1,16	1,07	0,96	0,88	-	-	-	-	
Мідь	1,23	1,11	1,03	0,97	0,93	0,87	-	-	-	
Нержавіюча сталь	-	-	-	0,91	0,79	0,70	0,64	-	-	
Нікель	-	-	1,07	0,97	0,93	0,9	0,87	0,74	0,66	

Таблиця 22 – Характеристика насадок вогнеперешкоджувача

Вид насадки	Розміри елемента насадки, мм	Вільний об'єм, ε	Питома поверхня, S, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>
Кільця Рашига (dxhxδ)	6x6x1	0,55	690
	8x8x1,5	0,64	570
	12,5x12,5x2	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 23 – Характеристика трубопроводів (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	4–28	168	5–45
42	2,5–10	114	4–28	219	6–50
48	2,5–10	127	4–30	273	6,5–50
57	3–13	133	4–32	325	7,5–75
60	3–14	140	3,5–36	377	9–75
76	3–19	146	4,5–36	426	9–75

**Примітка.** Труби виготовляють зі сталей марок Ст 2; 3; 4; 5 і 6, що мають відповідні допускові напруження (МПа): 135, 160, 168, 200 і 240.

Таблиця 24 – Значення максимального тиску вибуху для деяких горючих речовин

Горюча речовина	Вміст у повітрі, % об.	Максимальний тиск вибуху, МПа
1	2	3
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

## Продовження таблиці 24

н-Гексан	1,2	0,67
	2,0	0,56
	2,5	0,848
	3,0	0,58
	10	0,56
Метилловий спирт	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 25 – Значення нижчої теплоти згоряння для деяких твердих горючих речовин і матеріалів

Речовини та матеріали	Нижча теплота згоряння, МДж/ кг
Папір:	
розрихлений	13,40
книги, журнали	13,40
книги на дерев'яних стелажах	13,40
Деревина (бруски $W = 14\%$ )	13,80
Деревина (меблі у житлових і адміністративних будинках $W = 8 - 10\%$ )	13,80
Кальцій (стружка)	15,80
Каніфоль	30,40
Кіноплівка триацетатна	18,80
Капрон	31,09
Карболітові вироби	26,90
Каучук СКС	43,89
Каучук натуральний	44,73
Каучук хлоропреновий	27,99
Барвник жировий 5С	33,18
Барвник 9-78Ф п/е	20,67
Барвник фталоціанотен 4 "3" М	13,76
Ледерин (шкірозамінник)	17,76
Лінкруст полівінілхлоридний	17,08
Лінолеум:	
масляний	20,97
полівінілхлоридний	14,31
полівінілхлоридний двошаровий	17,91



Речовини та матеріали	Нижча теплота згорання, МДж/ кг
полівінілхлоридний на войлочній основі	16,57
полівінілхлоридний на тканинній основі	20,29
Лінопор	19,71
Магній	25,10
Міпора	17,40
Натрій металевий	10,88
Органічне скло	27,67
Полістирол	39,00
Гума	33,52
Текстоліт	20,90
Торф	16,60
Пінополіуретан	24,30
Волокно штапельне	13,80
Волокно штапельне у купі 40x40x40 см	13,80
Поліетилен	47,14
Поліпропилен	45,67
Бавовна у тюках $\rho = 190 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$	16,75
Бавовна розрихлена	15,70
Льон розрихлений	15,70
Бавовна + капрон (3:1)	16,20

Таблиця 26 – Характеристика матеріалу вибухових мембран

Матеріал (марка) та його стан	Гранично допустима температура, $t_m$ °С	Межа міцності, $\delta_v$ , МПа	Відносне подовження, $\delta$	Показник повзучості $\lambda$ , 1/рік
Алюміній (АД00, АД0, АД, АД1, А5, А6, А7, А0, А): – м'який – твердий	100	60 150	0,2–0,25 0,03–0,04	0,04
Мідь (М1, М2, М3): – м'яка – тверда	160	200 300	0,3 0,03	0,02
Нержавіюча сталь (ОХ18Н10Т): – м'яка – півнагартована – нагартована	300	540 800-900 1000	0,35–0,4 0,15–0,2 0,05	0,05
Нікель (НП1, НП2, НП3, НП4): – м'який – напівтвердий – твердий	400	400 450 550	0,35 0,1 0,02	0,07

**Примітка.** Не допускається використання мембран із міді та її сплавів у середовищах, що містять ацетилен та його гомологи.

Таблиця 27 – Показники пожежної небезпеки деяких сумішей та технічних продуктів

Продукт (склад суміші), % (мас.)	Сумарна формула	Моляр- на маса, кг/кмоль	Темпе- ратура спала- ху, °С	Темпера- тура само- спалахува- ння, °С	Константи рівняння Антуана			НКМПП, % (об.)	Теплота згоряння, кДж/кг
					А	В	С <sub>А</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Бензин авіаційний Б-70	$C_{7,267}H_{14,796}$	102,2	-34	300	7,54424	2629,65	384,195	0,79	44094
Бензин А- 72 (зимовий)	$C_{6,991}H_{13,706}$	97,2	-36	-	4,19500	682,876	222,066	1,08	44239
Бензин АІ-93 (літній)	$C_{7,024}H_{13,706}$	98,2	-36	-	4,12311	664,976	221,695	1,06	43641
Бензин АІ-93 (зимовий)	$C_{6,911}H_{12,168}$	95,3	-37	-	4,26511	695,019	223,220	1,1	43641
Дизельне паливо «З»	$C_{12,343}H_{23,889}$	172,3	>+35	+225	5,07818	1255,73	199,523	0,61	43590
Дизельне паливо «Л»	$C_{14,511}H_{29,120}$	203,6	>+40	+210	5,00109	1314,04	192,473	0,52	43419
Гас освітлювальн. КО-20	$C_{13,595}H_{26,860}$	191,7	>+40	+227	4,82177	1211,73	194,677	0,55	43692
Гас освітлювальн. КО-22	$C_{10,911}H_{13,706}$	153,1	>+40	+245	5,59599	1394,72	204,260	0,64	43692
Гас освітлювальн. КО-25	$C_{7,024}H_{21,752}$	154,7	>+40	+236	5,12496	1223,85	203,341	0,66	43692
Ксилол (суміш ізомерів)	$C_{8,10}$	106,17	+29	+490	6,17972	1478,16	220,535	1,1	43154
Уайт-спірит	$C_{10,5}H_{21}O$	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	0,7	43966
Олива трансформаторна	$C_{21,74}H_{42,28}$ $S_{0,04}$	303,9	>+135	+270	6,88412	2524,17	174,010	0,29	43111
Олива АМТ-300	$C_{21,75}H_{33,48}$ $S_{0,34}N_{0,07}$	312,9	>+170	+290	6,12439	2240,001	167,85	0,2	42257
Олива АМТ-300 Т	$C_{19,04}H_{24,58}$ $S_{0,196}N_{0,04}$	260,3	>+189	+334	5,62020	2023,77	164,09	0,2	41778
Розчинник Р-4 (бутилаце-тат-12, толуол-62, ацетон-26)	$C_{5,452}H_{7,606}$ $O_{0,535}$	81,7	-7	+550	6,29685	1373,667	242,828	1,65	40936
Розчинник Р-4 (ксилол-5, толуол-70, ацетон-15)	$C_{6,231}H_{7,798}$ $O_{0,223}$	86,3	-4		6,27853	1415,199	244,752	,38	43154
Розчинник Р-5 (бутилаце-тат-30, ксилол-40, ацетон-30)	$C_{5,309}H_{8,655}$ $O_{0,897}$	86,8	9		6,30343	1378,851	245,039	1,57	43154
Розчинник (бутилацетат-30, ксилол-10, толуол-60)	$C_{6,838}H_{7,606}$ $O_{0,515}$	99,6	+10		6,17297	403,079	221,483	,26	43154

Продовження табл. 27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розчинник М (бутилаце-тат-30, ети-лацет-5, етило-вий спирт-60, ізобу-тило-вий спирт-5)	$C_{2,761}H_{7,147}O_{1,187}$	59,36	+6	+397	8,05697	2083,566	267,735	2,79	36743
Розчинник РМЛ (толуол-10, ети-ловий спирт-64, бутиловий спирт-10, етил-целозольв -16)	$C_{2,645}H_{6,810}O_{1,038}$	55,24	+10	+374	8,69654	2487,728	290,920	2,85	40936
Розчинник РМЛ-218 (бутилацетат-9, ксилол- 21,5, толуол-21,5, етило-вий спирт -16, бутиловий спирт-3, етилцелозольв13, етилацетат -16)	$C_{4,791}H_{8,318}O_{0,974}$	81,51	+4	+399	7,20244	1761,043	251,546	1,72	43154
Розчинник РМЛ-315 (бутилацетат-8, ксилол-25, толуол-25, бутиловий спирт-15, етилцелозольв 17)	$C_{5,962}H_{9,779}O_{0,845}$	94,99	+16	+367	6,83653	1699,687	241,00	1,25	43154
Уайт-спірит	$C_{10,5}H_{21,0}$	147,3	>+33	+250	7,13623	2218,3	273,15	0,7	43966

Таблиця 28 – Зміна висоти парової завіси (м) залежно від діаметра отворів і тиску пари

Тиск пари ( $P_1 \cdot 10^5 \text{Па}$ )	Діаметр отворів ( $d_0$ , мм)								
	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$W_B = 2 \text{ м/с}$ (швидкість вітру)									
3	3,30	4,05	4,7	5,3	5,9	6,5	7,0	7,5	
4	4,00	4,80	5,5	6,3	7,0	7,6	8,2	8,7	
5	4,50	5,40	6,3	7,2	7,9	8,7	9,3	10,0	
6	4,85	5,80	6,7	7,7	8,5	9,3	10,0	—	
7	5,25	6,30	7,3	8,3	9,2	10,0	—	—	
8	5,50	6,60	7,6	8,7	9,5	—	—	—	
9	5,75	7,00	8,0	9,2	10,0	—	—	—	
10	6,15	7,40	8,5	9,8	—	—	—	—	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	6,70	8,00	9,3	11,0	—	—	—	—
14	7,10	8,50	10,0	—	—	—	—	—
16	7,50	9,00	—	—	—	—	—	—
$W_B = 3 \text{ м/с}$								
4	2,60	3,20	3,70	4,20	4,60	5,0	5,5	5,80
5	3,00	3,60	4,15	4,80	5,25	5,7	6,2	6,60
6	3,20	3,90	4,50	5,15	5,70	6,2	6,7	7,15
7	3,50	4,20	4,85	5,50	6,10	6,7	7,2	7,70
8	3,65	4,40	5,20	5,80	6,40	7,0	7,6	8,10
10	4,10	5,00	5,70	6,50	7,20	7,9	8,5	9,10
12	4,40	5,40	6,20	7,00	7,80	8,5	9,2	9,80
16	5,00	6,00	6,90	7,80	8,70	9,5	10,3	—
$W_B = 4 \text{ м/с}$								
4	—	2,40	2,80	3,1	3,50	3,8	4,1	4,4
5	—	2,80	3,10	3,5	3,90	4,3	4,6	5,0
6	2,42	2,92	3,36	3,8	4,25	4,6	5,0	5,4
7	2,60	3,16	3,60	4,1	4,60	5,0	5,4	5,8
8	2,70	3,30	3,80	4,3	4,80	5,2	5,6	6,0
9	2,90	3,45	4,00	4,5	5,00	5,5	5,9	6,3
10	3,10	3,74	4,30	4,9	5,40	5,9	6,4	6,8
12	3,30	4,10	4,70	5,1	5,90	6,4	6,9	7,4
15	3,60	4,40	5,00	5,7	6,30	6,9	7,4	8,0
$W_B = 6 \text{ м/с}$								
4	—	—	1,84	2,10	2,30	2,54	2,75	2,90
6	—	1,95	2,25	2,57	2,82	3,10	3,34	3,60
8	—	2,20	2,52	2,90	3,20	3,50	3,80	4,00
10	2,10	2,50	2,85	3,16	3,60	4,00	4,30	4,60
12	2,20	2,65	3,06	3,40	3,85	4,20	4,60	4,90
15	2,42	2,90	3,86	3,82	4,25	4,60	5,00	5,35

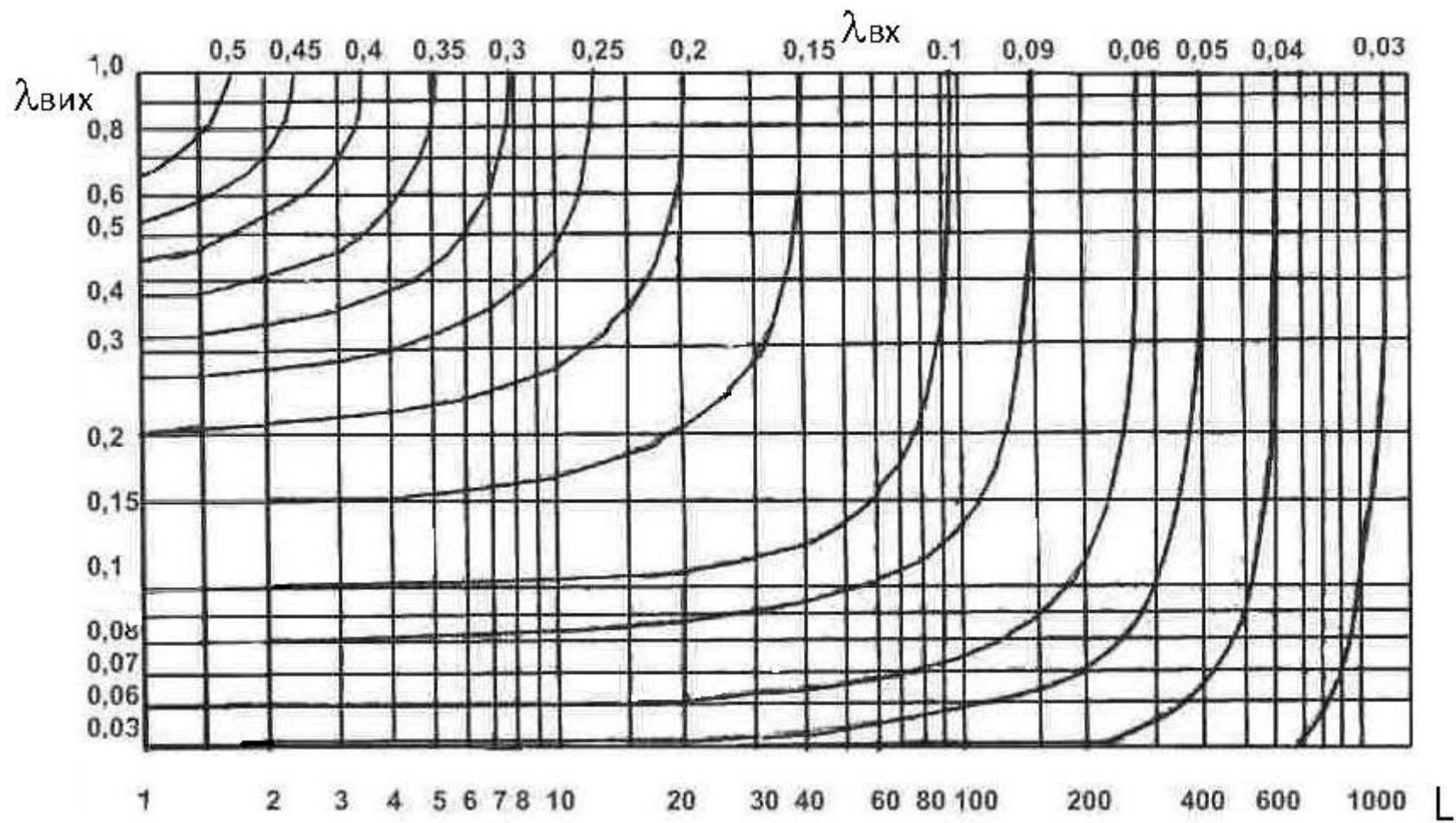


Рисунок 1– Визначення швидкісного коефіцієнта на вході парогазового середовища до відповідного трубопроводу

Таблиця 29 – Значення критичної поверхневої густини променистого потоку для деяких матеріалів пожежної навантаги

Матеріал	$q_{кр}, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$
Деревина (сосна, вологість 12 %)	13,9
Деревинно-стружкова плита питомої густини 417 кг/м <sup>3</sup>	8,3
Торф брикетний	13,2
Торф кусковий	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 деревинно-волокниста	13,0
Плита деревинно-стружкова з обробкою "Поліплен"	12,0
Плита деревинно-волокниста з лакофарбовим покриттям під цінні породи дерева	16,0
Вінілштучшкіра	32,0
Шкіра штучна	20,0
Склопластик на поліефірній основі	14,0
Лакофарбові покриття	25,0
Шпалери миючі ПВХ на паперовій основі	12,0
Лінолеум ПВХ одношаровий	10,0
Лінолеум алкідний	10,0
Лінолеум ПВХ	12,0
Лінолеум ПВХ на тканинній основі	12,0
Лінолеум рулоний на тканинній основі	12,0
Доріжка пруткова з чистої вовни,	9,0
Покриття килимне, прошивне	22,0
Сіно, солома (мінімальна вологість до 8 %)	7,0
Легкозаймисті, горючі та важкогорючі рідини за температури самоспалахування, °С:	
300	12,1
350	15,5
400	19,9
500 та вище	28,0

*Навчальне видання*

**Михайлюк** Олександра Петрівна  
**Олійник** Володимир Вікторович  
**Сирих** Василь Миколайович

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОЖЕЖНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ**

*Практикум*

Підписано до друку 16.09.16 . Формат 60x84/16.  
Папір 80 г/м<sup>2</sup>. Ум.друк. арк. 12,5  
Тираж 300 прим. Вид. № 74/16. Обл.вид арк. 7,1  
Сектор редакційно-видавничої діяльності  
Національного університету цивільного захисту України  
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94