

УДК 614.841

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НАДЛИШКОВОГО ТИСКУ ВИБУХУ ПАРІВ СУМІШЕЙ ГОРЮЧИХ РІДИН

М.В.Білошицький*, канд.хім.наук, В.В.Ніжник, канд.техн.наук, Н.В.Кравченко., О.М.Тесленко, С.З.Цимбалістий.

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 06.11.2017

Пройшла рецензування: 13.11.2017

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

надлишковий тиск вибуху парів горючих рідин, стехіометрична концентрація, інтенсивність випаровування

АНОТАЦІЯ

У статті наведено особливості розрахунку надлишкового тиску вибуху парів сумішей горючих рідин у приміщенні відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою

Під час розрахунку категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою використовуються показники пожежовибухонебезпеки речовин і матеріалів. Для індивідуальних речовин і матеріалів такі показники наводяться у довідниковій літературі, а для сумішей такі показники наводяться не часто. У зв'язку з цим у пункті 5.3 [1] вказується, що у разі відсутності даних дозволено приймати показники пожежовибухонебезпеки горючих сумішей речовин і матеріалів за найнебезпечнішим компонентом згідно чинних нормативних документів.

У даній статті розглядаються особливості розрахунку надлишкового тиску вибуху парів сумішей рідких речовин за двома підходами: розрахунок надлишкового тиску з урахуванням тиску насичених парів всіх компонентів суміші рідких горючих речовин і розрахунок надлишкового тиску вибуху парів горючої суміші з урахуванням тиску насичених парів найнебезпечнішого, з точки зору пожежної небезпеки, компоненту, щоб встановити наскільки відрізняються результати розрахунків за двома підходами.

Для спрощення розрахунків приймаємо однакові умови виникнення аварійної ситуації в наслідок якої можливе утворення горючого середовища і вибух: площа приміщення становить 271 м², висота стелі – 3,1 м, об'єм приміщення (V) – 840 м³, вільний об'єм приміщення 672 м³ (80 % V), повітрообмін відсутній. У результаті аварійної ситуації руйнується ємність з 10 дм³ суміші горючих рідин, суміш розливається на площі 10 м².

1. Розрахунок надлишкового тиску вибуху парів розчинника 646 з урахуванням тиску

насичених парів всіх компонентів суміші рідких горючих речовин та за найбільш небезпечним компонентом суміші

Довідникові дані щодо розчинника 646 [5]

Склад за ГОСТ 18888-72*, % мас.: етанол (C₂H₅OH) – 15%; бутанол (C₄H₉OH) – 10%; толуол (C₆H₅CH₃) – 50%; етилцеллозольв (C₂H₅OC₂H₄OH) – 8%; ацетон (C₃H₆O) – 7%; бутилацетат (C₆H₁₂O₂) – 10%, щільність розчинника (ρ) – 870 кг/м³.

Пожежонебезпечні властивості: легкозаймиста речовина, т. спалаху +6 °С, т. самозаймання 425 °С; температурні межі поширення полум'я: нижн. -2 °С, верх. 11 °С

Враховуючи щільність розчинника, визначаємо масу його, яка потрапила на підлогу приміщення:

$$m = \rho \cdot V = 870 \cdot 0,010 = 8,7 \text{ (кг)} \quad (1)$$

де m - маса, кг;

ρ - щільність розчинника. кг/м³;

V - об'єм, розлитої рідини., м³.

Визначення молярної маси розчинника 646

Розрахунок кількості атомів вуглецю, водню і кисню: [6]

$$N_i = \sum n_i \cdot a_i \quad (2)$$

де N_i - загальна кількість атомів хімічного елемента у суміші;

n_i - кількість атомів хімічного елемента в і-тому компоненті суміші.

a_i - вміст у % мас. кожного компонента у розчиннику.

*E-mail: btmw2009@i.ua

$$C=(15 \cdot 2+10,0 \cdot 4+50,0 \cdot 7+8 \cdot 4+7 \cdot 3+10 \cdot 6) / 100=5,33$$

$$H=(15 \cdot 6+10,0 \cdot 10+50,0 \cdot 8+8 \cdot 10+7 \cdot 6+10 \cdot 12) / 100=8,32$$

$$O=(15 \cdot 1+10,0 \cdot 1+50,0 \cdot 0+8 \cdot 2+7 \cdot 1+10 \cdot 2) / 100=0,68$$

Брутто-формула розчинника 646 має вид: $C_{5,33}H_{8,32}O_{0,68}$ Молекулярна маса – 83,16.

Визначення найнижчої теплоти згорання розчинника 646 за правилом адитивності [3]

Найнижчі теплоти згорання компонентів розчинника становлять: етанол – 30,56 МДж/кг, бутанол – 36,80 МДж/кг, толуол – 40,93 МДж/кг, етилцелозоль – 26,38 МДж/кг, ацетон – 31,36 МДж/кг, бутилацетат – 28,28 МДж/кг.

Враховуючи довідкові дані щодо найнижчих теплот згорання компонентів розчинника та правило адитивності, визначаємо теплоту його згорання.

$$H_T = \sum \varphi_i \cdot H_{Ti} \quad (3)$$

де φ_i - вміст і-того компонента у суміші, %;

H_{Ti} - теплота згорання і-того компонента суміші, МДж/кг.

$$H_T=(15,0 \cdot 30,56+10,0 \cdot 36,8+50,0 \cdot 40,93+8 \cdot 26,38+7 \cdot 31,36+10 \cdot 28,28) / 100=35,86 \text{ МДж/кг.}$$

Визначення найнижчої теплоти згорання розчинника 646 за формулою Менделєєва

Значення найнижчої теплоти згорання твердих, рідких речовин можуть бути визначені за формулою Менделєєва. Ця формула може бути використана для розрахунків H_T сумішей речовин, а також для індивідуальних речовин, якщо для цього попередньо визначити масову частку кожного елемента у суміші речовин (w) у відсотках [6].

$$H_T=339,4 \cdot w(C) + 1257 \cdot w(H) - 108,9 [(w(O) + w(N)) - w(S)] - 25,1 [9 \cdot w(H) + w(W)], \text{ кДж/кг, (4)}$$

де $w(C)$, $w(H)$, $w(S)$, $w(O)$, $w(N)$ – масові частки елементів у речовині, %;

$w(W)$ – масова частка вологи у речовині, %.

Для того, щоб скористатись даною формулою, необхідно визначити вміст кожного елемента у суміші речовин у відсотках ($w, \%$). Молярна маса розчинника 646 ($C_{5,33}H_{8,32}O_{0,68}$) становить 83,16.г/моль.

$$w(C), \% = \frac{5,33 \cdot 12}{83,16} \cdot 100 = 77,0\%$$

$$w(H), \% = \frac{8,32 \cdot 1}{83,16} \cdot 100 = 10,0\%$$

$$w(O), \% = \frac{0,68 \cdot 16}{83,16} \cdot 100 = 13,0\%$$

Отримані значення масових часток у відсотках, підставляємо у формулу Менделєєва (4).

$$H_T = 339,4 \cdot 77,0 + 1257 \cdot 10,0 - 108,9 \cdot 13,0 - 25,1 \cdot (9 \cdot 10,0 + 1) = 35,004 \text{ МДж/кг.}$$

Отримані в результаті розрахунків за формулами (3) і (4) значення найнижчої теплоти згорання розчинника 646 практично збігаються, Для подальших розрахунків приймаємо середнє значення найнижчої теплоти згорання розчинника 646, а саме 35,43 МДж/кг.

Визначення тиску насичених парів розчинника 646

Для розчинів і сумішей неелектролітів, близьких за своїми фізико-хімічними властивостями, загальний тиск насичених парів за законом Рауля може бути визначений за формулою [3,4]:

$$P_n = P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + \dots + P_n \cdot x_n \quad (5)$$

де P_n - загальний тиск насичених парів суміші, кПа;

P_1, P_2, \dots, P_n - тиск насичених парів компонентів при заданій температурі, кПа;

x_1, x_2, \dots, x_n - мольні частки компонентів.

Мольна частка - відношення кількості молей даного компонента до загальної кількості молів усіх компонентів. Мольну частку x_j виражають у частках одиниці [3,4].

$$x_j = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (6)$$

де: v_i - кількість молів і-го компонента, моль;

n - число компонентів.

Визначаємо кількість молів кожного з компонентів розчинника 646.

Враховуючи щільність розчинника і вміст кожного з компонентів у відсотках розраховуємо вміст кожного з компонентів розчинника за масою. На прикладі етанолу складаємо пропорцію:

1 л суміші має вагу 0,87 кг - 100%

m етанолу, кг - 15% (за вихідними даними)

Тобто:

m етанолу, кг = $(0,87 \cdot 15) / 100 = 0,13$ кг або 130 г.

Кількість молів етанолу у 1 літрі розчинника [3,6]:

$$v_i = \frac{m_i}{M_i} = \frac{130}{46,069} = 2,89 \quad (7)$$

де m_i – маса i -того компонента в суміші, г;
 M_i – молярна маса i -того компонента в суміші.

За аналогією визначаємо вміст інших компонентів розчинника за масою та кількість молів у 1 літрі розчинника.

Загальна сума молів в одному 1 л розчинника становить 11,3. Мольна частка етанолу у розчиннику за формулою (6) становить:

$$x_j = \frac{2,82}{11,3} = 0,25$$

За такою ж схемою визначаємо мольну частку кожного з компонентів i також заносимо в таблицю 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків вмісту компонентів розчинника за масою та кількістю молів

Найменування компоненту розчинника	Вміст компоненту розчинника за масою, г, у 1 дм ³ розчинника / кг у 10 дм ³	Кількість молів (ν) кожного з компонентів у 10 дм ³ розчинника	Мольна частка (x_i) кожного компонента в розчиннику
Етанол	130 / 1,3	2,83	0,250
Бутилацетат	87 / 0,87	0,75	0,066
Бутанол	87/0,87	1,17	0,105
Толуол	435/4,35	4,72	0,418
Етилцеллозольв	69,6/0,696	0,77	0,068
Ацетон	60,9/0,609	1,05	0,093

Визначаємо тиск насичених парів кожного з компонентів P_n , кПа, використовуючи коефіцієнти Антуана за довідниковими даними [5], за формулою:

$$P_n = 10^{\frac{A-B}{C+t_p}} \quad (8)$$

де A , B , C_a - константи Антуана [5], визначені, коли тиск насичених парів вимірюють у кПа;

t_p – температура рідини, °С.

Етанол

$$P_n = 10^{\frac{7,81158 - \frac{1918,508}{252,125+35}}{}} = 10^{1,13} = 13,5 \text{ (кПа)}$$

Бутанол

$$P_n = 10^{\frac{8,72232 - \frac{2664,684}{279,638+35}}{}} = 10^{0,253} = 1,79$$

Толуол

$$P_n = 10^{\frac{6,0507 - \frac{1328,171}{217,713+35}}{}} = 10^{0,795} = 6.238$$

Етилцеллозельв

$$P_n = 10^{\frac{7,86626 - \frac{2392,56}{273,15+35}}{}} = 10^{0,102} = 1.265$$

Ацетон

$$P_n = 10^{\frac{6,37551 - \frac{1281,721}{273,088+35}}{}} = 10^{1,668} = 46.63$$

Бутилацетат

$$P_n = 10^{\frac{6,25205 - \frac{1430,418}{210,745+35}}{}} = 10^{0,431} = 2.7$$

Визначаємо загальний тиск насичених парів розчинника 646 за законом Рауля:

$$P_n = 13,5 \cdot 0,25 + 1,79 \cdot 0,1 + 6,238 \cdot 0,417 + 1,265 \cdot 0,068 + 46,63 \cdot 0,093 + 2,7 \cdot 0,066 = 10,76 \text{ (кПа)}$$

Визначення маси парів розчинника 646

Для визначення маси парів розчинника визначають інтенсивність випаровування W кг м⁻² с⁻¹ за довідниковими або експериментальними даними. Для ЛЗР, які не нагріті вище температури навколишнього середовища, у разі відсутності таких даних, дозволяється розраховувати W за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \quad (9)$$

де η – коефіцієнт, який приймають відповідно до таблиці 3 [1] залежно від швидкості повітряного потоку, що створюється вентиляцією над поверхнею випаровування, та

температури повітряного потоку над поверхнею випаровування;

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

P_n – тиск насиченої пари, кПа.

За відсутності примусової вентиляції $\eta = 1$. Молярна маса розчинника 646 за вищенаведеними розрахунками становить 83,16.

Інтенсивність випаровування за формулою (9) становить:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{83,16} \cdot 10,76 = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$$

За розрахунковою аварією на підлогу приміщення розлилося 10 дм^3 розчинника на площі 10 м^2 .

Визначаємо масу парів розчинника m , що випарувався з площі розливу за 1 годину (3600 с) за формулою:

$$m = W \cdot F_v \cdot \tau_v \quad (10)$$

де W – інтенсивність випаровування, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; F_v – площа випаровування, м^2 , τ_v – тривалість випаровування ЛЗР та ГР до приміщення. За вимогами [1] тривалість випаровування не повинна перевищувати 3600 с.

$$m = 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 3600 = 3,6 \text{ кг}$$

Розрахунок надлишкового тиску вибуху з урахуванням участі всіх компонентів

Оскільки розчинник 646 є сумішшю декількох розчинників, визначаємо надлишковий тиск вибуху за формулою [1]:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{пов}} \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n} \quad (11)$$

де m – маса парів ЛЗР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до приміщення, кг;

H_T – теплота згоряння, Дж/кг;

P_0 – атмосферний тиск, кПа, приймають таким, що дорівнює 101,3 кПа;

Z – коефіцієнт участі парів ЛЗР та ГР у вибуху, приймають відповідно до таблиці 2 [1].

$V_{\text{вільн}}$ – вільний об'єм приміщення, м^3 ;

$\rho_{\text{пов}}$ – густина повітря до вибуху за початкової температури T_0 , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

C_p – теплоємність повітря, Дж/(кг·К) (приймають рівною $1,01 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К));

K_n – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадіабатичність

процесу горіння. Допускається приймати K_n рівним 3.

T_0 – початкова температура повітря, К.

Щільність повітря при розрахунковій температурі становить:

$$\rho_{\text{пов}} = \frac{M}{V_0(1+0,00367 \cdot t)} = \frac{29}{22,413(1+0,00367 \cdot 35)} = 1,147$$

$$\rho_{\text{пов}} = \frac{M}{V_0(1+0,00367 \cdot t)} = \frac{29}{22,413(1+0,00367 \cdot 35)} = 1,147 \text{ кг/м}^3$$

Надлишковий тиск вибуху парів розчинника 646 за формулою (12) становить:

$$\Delta P = \frac{3,6 \cdot 35,43 \cdot 10^6 \cdot 101,0,3}{672,0 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308} \cdot \frac{1}{3} = 5,37 \text{ (кПа)}$$

Розрахунок вмісту кожного з компонентів розчинника 646 у 10 дм^3

За даними, наведеними вище, склад розчинника 646, % мас.: етанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) – 15%; бутанол ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) – 10%; толуол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) – 50%; етилцеллозольв ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_4\text{OH}$) – 8%; ацетон ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) – 7%; бутилацетат ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$) – 10%.

Користуючись даними щодо щільності розчинника 646, визначаємо масу кожного з компонентів, яка відповідає вказаному відсотковому вмісту у 1 дм^3 розчинника. Наприклад, для етанолу: $0,15 \cdot 0,870 = 130,5$ (г). За аналогією визначаємо масу інших компонентів в 1 дм^3 розчинника 646.

Результати розрахунків наведено у таблиці 1.

Розрахунок інтенсивності випаровування та маси парів компонентів розчинника 646 як індивідуальної речовини.

Молекулярна маса етанолу 46,0. За наведеними вище розрахунками тиск насичених парів етанолу при розрахунковій температурі 35 °С становить 13,5 кПа.

Враховуючи чисельні значення тиску насичених парів, що визначено вище, визначаємо інтенсивність випаровування етанолу за формулою (9):

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot \sqrt{46} \cdot 13,5 = 0,91 \cdot 10^{-4}$$

Визначаємо масу парів етанолу за формулою (10):

$$m = 0,91 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 3600 = 3,27 \text{ кг}$$

За аналогією визначаємо інтенсивність випаровування і масу парів кожного з

компонентів розчинника 646 як індивідуальної речовини у разі розливання 10 дм³ компоненту

на площі 10 м². Результати розрахунків наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 - Результати розрахунків інтенсивності випаровування і маси парів компонентів розчинника 646 як індивідуальних речовин.

Найменування компонента	Хімічна формула	Молекулярна вага, г/моль	Тиск насичених парів, кПа	Інтенсивність випаровування, кг с ⁻¹ м ⁻²	Маса парів, що може випаруватися, кг
Ацетон	C ₃ H ₆ O	58,08	46,63	3,55·10 ⁻⁴	12,70
Бутилацетат	C ₆ H ₁₂ O ₂	116,15	2,7	0,29·10 ⁻⁴	1,04
Етилцелозельв	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₄ OH	90,1	1,265	0,12·10 ⁻⁴	0,43
Толуол	C ₆ H ₅ CH ₃	92,14	6,23	0,60·10 ⁻⁴	2,16
Бутанол	C ₄ H ₉ OH	74,12	1,79	0,15·10 ⁻⁴	0,55
Етанол	C ₂ H ₅ OH	46,07	13,5	0,916·10 ⁻⁴	3,30

За результатами, наведеними у таблицях 1, 2, реальна маса парів кожного з компонентів становить: етанол – 1,3 кг; ацетон – 0,61 кг; бутанол – 0,55 кг; бутилацетат – 0,87 кг; толуол – 2,16 кг; етилцелозольв – 0,43 кг

Розрахунок надлишкового тиску вибуху парів компонентів розчинника 646

За результатами розрахунків, що наведено у таблицях 1,2, найбільшими за масою парів є толуол та етанол.

У разі відсутності даних дозволено приймати показники пожежовибухонебезпеки горючих сумішей речовин і матеріалів за найнебезпечнішим компонентом згідно чинних нормативних документів.

Оскільки толуол і етанол входять до складу суміші, надлишковий тиск вибуху парів толуолу визначаємо за формулою (11):

$$\Delta P = \frac{2,16 \cdot 40,9 \cdot 10^6 \cdot 101 \cdot 0,3}{672,0 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308} \cdot \frac{1}{3} = 3,72(\text{кПа})$$

За аналогією надлишковий тиск вибуху парів етанолу за формулою (11) становить:

$$\Delta P = \frac{1,3 \cdot 30,56 \cdot 10^6 \cdot 101 \cdot 0,3}{672,0 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308} \cdot \frac{1}{3} = 1,67(\text{кПа})$$

Висновок.

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху, розрахований з урахуванням тиску насичених парів усіх компонентів суміші рідких горючих речовин у розчиннику 646, становить 5,37 кПа;

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху парів за найнебезпечнішим компонентом суміші – толуолом, становить 3,72 кПа.

2. Розрахунок надлишкового тиску вибуху парів суміші толуолу та етилацетату з урахуванням тиску насичених парів всіх компонентів та за найбільш небезпечним компонентом суміші

Вказана суміш має такий склад: 50% (мас) толуолу та 50% (мас) етилацетату.

Щільність суміші становить 883 г/л

Враховуючи щільність розчинника визначаємо масу його, яка потрапила на підлогу приміщення за формулою (1):

$$m = \rho \cdot V = 883 \cdot 0,010 = 8,83 (\text{кг})$$

Визначення брутто формули суміші толуолу та етилацетату

За аналогією з вищенаведеним у розділі 1 визначаємо кількість атомів С,Н,О та записуємо брутто-формулу.

Хімічні формули компонентів: C₇H₈ (толуол); C₄H₈O₂ (етилацетат).

$$C = (50 \cdot 7 + 50 \cdot 4) / 100 = 5,5$$

$$H = (50 \cdot 8 + 50 \cdot 8) / 100 = 8,0$$

$$O = (50 \cdot 2) / 100 = 1$$

Брутто формула суміші C_{5,5}H₈O. Молярна маса, відповідно, становить 90 г/моль.

Визначаємо відсоток кожного елементу у речовині [6].

$$W(C) = (5,5 \cdot 12) / 90 = 0,733 \text{ або } \%$$

$$= 0,733 \cdot 100\% = 73,3\%$$

$$W(H) = (8,0 \cdot 1) / 90 = 0,089 \text{ або } \%$$

$$= 0,089 \cdot 100\% = 8,9\%$$

$$W(O) = (1,0 \cdot 16) / 90 = 0,18 \text{ або у \%} \\ = 0,18 \cdot 100\% = 18,0\%$$

Визначення найнижчої теплоти згорання суміші толуолу та етилацетату

Визначаємо найнижчу теплоту згорання за формулою Менделєєва:

$$H_T = 339,4 \cdot 73,3 + 1257 \cdot 8,9 - 108,9 \cdot 18 - \\ 25,1 \cdot 9 \cdot 8,9 - 25,1 = 32,07 \text{ (МДж/кг)}$$

Розрахунок мольних часток компонентів суміші толуолу та етилацетату

Визначаємо кількість молів толуолу, враховуючи масу його в 1 л суміші - 50% (мас) (441 г) за формулою (7):

$$v_i = \frac{m}{M} = \frac{441}{92,14} = 4,79$$

За аналогією визначаємо вміст етилацетату кількість молів у 1 літрі розчинника.

$$v_i = \frac{m}{M} = \frac{441}{88,0} = 5,01$$

Загальна сума молів в одному 1 л розчинника становить 9,8.

Мольна частка толуолу у розчиннику за формулою (6) становить:

$$x_j = \frac{4,79}{9,8} = 0,489$$

Мольна частка етилацетату у розчиннику за формулою (6) становить:

$$x_j = \frac{5,01}{9,8} = 0,511$$

Розрахунок тиску насичених парів суміші толуолу та етилацетату

Визначаємо тиск насичених парів кожного компоненту. За попередніми розрахунками тиск насичених парів толуолу становить 6,238 кПа.

Визначаємо тиск насичених парів етилацетату за формулою (8):

$$P_n = 10^{6,226 \cdot \frac{1244,951}{217,88+35}} = 10^{1,303} = 20,09 \text{ кПа}$$

Визначаємо тиск насичених парів суміші за законом Рауля:

$$P_n = 6,238 \cdot 0,489 + 20,09 \cdot 0,501 = 13,3 \text{ (кПа)}$$

Відповідно, інтенсивність випаровування суміші за формулою (9) становить:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot (90)^{0,5} \cdot 13,3 = 1,26 \cdot 10^{-4}$$

Маса парів суміші за формулою (10) становить:

$$m = 1,26 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 3600 = 4,54 \text{ кг}$$

Визначення надлишкового тиску вибуху парів суміші толуолу та етилацетату.

Визначаємо надлишковий тиск вибуху за формулою (11):

$$\Delta P = \frac{4,54 \cdot 32,07 \cdot 10^6 \cdot 101,3 \cdot 0,3}{672,0 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308 \cdot 3} = 6,15 \text{ кПа}$$

Розрахунковий тиск вибуху парів з урахуванням тиску насичених парів всіх компонентів суміші, становить 6,15 кПа.

Розрахунок надлишкового тиску вибуху парів за найнебезпечнішим компонентом суміші - толуолом або етилацетатом

Визначаємо найбільш небезпечний компонент у суміші толуолу та етилацетату.

За вищенаведеним розрахунком встановлено, що з 10 м² площі випаровування за 1 годину (3600 с) при температурі 35 °С випаровується 2,16 кг толуолу.

Визначаємо інтенсивність випаровування етилацетату за формулою (9):

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot (88)^{0,5} \cdot 20,09 = 1,88 \cdot 10^{-4}$$

Маса парів етилацетату за формулою (10) становить:

$$m_{\text{парів}} = 1,88 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 3600 = 6,768 \text{ (кг)}$$

Реальний вміст етилацетату у 10 дм³ становить 4,41. Оскільки у даному розрахунку етилацетат є складовою частиною суміші, то для розрахунку надлишкового тиску використовуємо формулу (11):

$$\Delta P = \frac{4,41 \cdot 23,58 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 101,3 \cdot 1}{6720 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308 \cdot 3} = 4,4 \text{ (кПа)}$$

Маса парів толуолу за формулою (10) становить:

$$m_{\text{парів}} = 0,60 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 3600 = 2,16 \text{ (кг)}$$

Оскільки у даному розрахунку толуол є складовою частиною суміші, то для розрахунку надлишкового тиску використовуємо формулу (11):

$$\Delta P = \frac{2,16 \cdot 40,93 \cdot 10^6 \cdot 101,3 \cdot 0,3}{672,0 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308} \cdot \frac{1}{3} = 3,73$$

Таким чином, розрахунковий тиск вибуху за максимальним чисельним значенням надлишкового тиску, яке отримане для найбільш небезпечного компонента суміші – етилацетату становить 4,4 кПа.

Висновок.

Розрахунковий тиск вибуху парів з урахуванням тиску насичених парів всіх компонентів суміші становить 6,15 кПа.

Розрахунковий тиск вибуху парів за найбільш небезпечним компонентом суміші – етилацетатом, становить 4,4 кПа.

3. Розрахунок надлишкового тиску вибуху парів розчинника 651

Вказаний розчинник має склад: 10% (мас) бутанолу та 90% (мас) уайт-спіріту, щільність 791,5 кг/м³ [5].

Враховуючи щільність суміші розчинників, визначаємо масу її, яка потрапила на підлогу приміщення.

$$m = \rho \cdot V = 791,5 \cdot 0,01 = 7,915 \text{ кг}$$

Розрахунок надлишкового тиску вибуху парів розчинника 651 з урахуванням тиску насичених парів всіх компонентів суміші рідких горючих речовин

За аналогією з вищенаведеними розрахунками визначаємо кількість атомів С, Н, О та записуємо брутто формулу.

Хімічні формули компонентів: С₄Н₁₀О (бутанол)- 10% (мас.); С_{10,5}Н₂₁ (уайт-спіріт) – 90% (мас) [5].

$$C = (10 \cdot 4 + 90 \cdot 10,5) / 100 = 9,85$$

$$H = (10 \cdot 10 + 21 \cdot 90) / 100 = 19,9$$

$$O = (10 \cdot 1) / 100 = 0,1$$

Брутто формула суміші С_{9,85}Н_{19,9}О_{0,1}. Молярна маса, відповідно, становить 139,7 г/моль.

Визначаємо відсотковий вміст кожного елементу у розчиннику.

$$W(C) = (9,85 \cdot 12) / 139,7 = 0,846 \text{ або у \%} \\ = 0,846 \cdot 100\% = 84,6\%$$

$$W(H) = (19,9 \cdot 1) / 139,7 = 0,14 \text{ або у \%} \\ = 0,14 \cdot 100\% = 14,0\%$$

$$W(O) = (0,1 \cdot 16) / 139,7 = 0,0114 \text{ або у \%} \\ = 0,0114 \cdot 100\% = 1,14\%$$

Визначаємо найнижчу теплоту згоряння за формулою Менделєєва:

$$H_T = 339,4 \cdot 84,6 + 1257 \cdot 14,0 - 108,9 \cdot 1,14 - 25,1 \cdot 9 \cdot 14,0 - 25,1 \cdot 0,1 = 43,021 \text{ (МДж/кг)}$$

Один літр розчинника важить 791 г, 10% маси розчинника (бутанол) становить 79,1 г, а 90% (уайт-спіріт) - 711,0 г.

Визначаємо кількість молів бутанолу в 1 л розчинника за формулою (7):

$$V_{\text{бутанолу}} = \frac{m}{M} = \frac{79,1}{74,12} = 1,067$$

Визначаємо кількість молів уайт-спіріту в 1 л розчинника за формулою (7):

$$V_{\text{уайтспіріту}} = \frac{m}{V} = \frac{711,9}{147,0} = 4,84$$

Загальна кількість молів: 4,84 + 1,067 = 5,907 (молів)

Визначаємо мольну частку кожного з компонентів за формулою (6):

$$x_{\text{бутанолу}} = \frac{1,067}{5,91} = 0,18$$

$$x_{\text{уайтспіріту}} = \frac{4,84}{5,91} = 0,82$$

Визначаємо тиск насичених парів кожного компоненту. За попередніми розрахунками тиск насичених парів бутанолу становить 1,789 кПа.

Визначаємо тиск насичених парів уайт-спіріту за формулою (8):

$$P_H = 10^{7,13623 - \frac{2218,3}{273,15 + 35}} = 10^{-0,062} = 0,87 \text{ кПа}$$

Визначаємо тиск насичених парів розчинника за законом Рауля.

$$P_H = 1,789 \cdot 0,18 + 0,87 \cdot 0,82 = 1,03 \text{ (кПа)}$$

Відповідно, інтенсивність випаровування розчинника за формулою (9) становить:

$$W = 10^{-6} \cdot 1 \cdot (139,7)^{0,5} \cdot 1,03 = 12,17 \cdot 10^{-6}$$

Маса парів розчинника за формулою (10) становить:

$$m = 12,17 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 3600 = 0,46 \text{ (кг)}$$

Визначаємо надлишковий тиск вибуху за формулою (11):

$$\Delta P = \frac{0,46 \cdot 43,021 \cdot 10^6 \cdot 101,3 \cdot 0,3}{672,0 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308} \cdot \frac{1}{3} = 0,83 \text{ кПа}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху парів розчинника з урахуванням тиску насичених парів всіх компонентів становить 0,83 кПа.

Розрахунок надлишкового тиску вибуху парів розчинника з урахуванням тиску насичених парів найнебезпечнішого компонента.

Інтенсивність випаровування кожного з компонентів розчинника за формулою (9) становить:

$$W_{\text{уайтспіріту}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot (147,0)^{0,5} \cdot 0,87 = 10,55 \cdot 10^{-6}$$

$$W_{\text{бутанол}} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot (74,12)^{0,5} \cdot 1,789 = 15,4 \cdot 10^{-6}$$

Маса парів кожного з компонентів розчинника за 3600 с випаровування за формулою (10) становить:

$$m_{\text{уайт-спіріту}} = 10,55 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 3600 = 0,380 \text{ (кг)}$$

$$m_{\text{бутанолу}} = 15,4 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 3600 = 0,554 \text{ (кг)}$$

За вищенаведеними розрахунками один літр розчинника 651 важить 791 г, бутанол становить 10% від цієї маси - 79,1 г, а уайт-спіріт - 90% - 711,0 г.

Маса уайт-спіріту у 10 дм³ суміші становить 7,11 кг, а маса бутанолу становить, відповідно, 0,079 кг.

При розрахунку надлишкового тиску вибуху парів бутанолу враховуємо, що з

розлитої кількості розчинника за час аварії випаровується весь бутанол – 0,079 кг:

$$\Delta P = \frac{0,079 \cdot 36,8 \cdot 10^6 \cdot 101,3 \cdot 0,3}{672,0 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308} \cdot \frac{1}{3} = 0,12 \text{ (кПа)}$$

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху парів уайт-спіріту за формулою (11) становить:

$$\Delta P = \frac{0,380 \cdot 43,97 \cdot 10^6 \cdot 101,3 \cdot 0,3}{672,0 \cdot 1,147 \cdot 1010 \cdot 308} \cdot \frac{1}{3} = 0,70 \text{ (кПа)}$$

Висновок.

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху парів розчинника 651 з урахуванням тиску насичених парів всіх компонентів становить 0,83 кПа.

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху за максимальним чисельним значенням, яке отримане для найбільш небезпечного компонента розчинника – уайт-спіріту становить 0,70 кПа.

Загальні висновки

На конкретних прикладах розглянуто особливості визначення розрахункового надлишкового тиску вибуху у приміщенні з горючими рідкими сумішами, компоненти яких близькі за фізико-хімічними властивостями, за двома підходами: з урахуванням внеску кожного з компонентів суміші розчинників під час розрахунку надлишкового тиску вибуху парів і розрахунок надлишкового тиску вибуху парів за найбільш небезпечним компонентом.

У таблиці 3 наведено результати розрахунків надлишкового тиску вибуху парів сумішей розчинників за двома підходами.

Таблиця 3 - Результати розрахунків надлишкового тиску вибуху парів сумішей розчинників.

Найменування речовини	Надлишковий тиск вибуху парів розчинника, розрахований за найбільш небезпечним компонентом, кПа	Надлишковий тиск вибуху парів розчинника, розрахований з урахуванням внеску кожного з компонентів розчинника, кПа
Розчинник 646	3,72	5,37
Суміш толуолу і етилацетату 1:1	4,4	6,15
Розчинник 651	0,70	0,83

Чисельні значення розрахункового надлишкового тиску вибуху парів сумішей, визначені за двома підходами, дещо відрізняються. Більші значення розрахункового надлишкового тиску вибуху отримано, коли враховується внесок кожного з компонентів розчинника у надлишковий тиск вибуху.

Зважаючи на вищенаведені розрахунки, доцільно під час розрахунку надлишкового тиску вибуху парів сумішей горючих рідин користуватись підходом, за яким враховується внесок кожного компонента суміші у сумарний надлишковий тиск вибуху парів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
2. Посібник щодо застосування НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою / Шкоруп О.І., Сізіков О.О., Куликівський В.С. та ін. – К., 2010. – 188 с.
3. [Електронний ресурс] -<http://firesafetyblog.ru>
4. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, № 3 Хафизов Ф.Ш., Краснов А.В. Давление насыщенных паров для нефтепродуктов.
5. Корольченко А.Я. Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности / Александр Яковлевич Корольченко, Дмитрий Олегович Загорский - М.: Изд-во «Пожнаука», 2010 - 118 с. Ил.
6. Хворенкова А.Ж. Теория горения и взрыва: Сб. задач – Екатеринбург: Изд. –во УрГУПС, 2014, -80 с.

FEATURES OF THE CALCULATION OF OVERPRESSURE EXPLOSION OF VAPOR MIXTURE OF FLAMMABLE LIQUIDS

M. Biloshytskyi, Cand. of Sc. (Chem.), V. Nizhnyk, Cand. of Sc. (Eng.), N. Kravchenko, O. Teslenko, S. Tsybalytskyi

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

overpressure explosion of vapors
flammable liquids, stoichiometric
concentration, evaporation intensity

ANNOTATION

The article describes features of calculation of overpressure explosion of vapors mixture of flammable liquids accordance with the requirements of regulations

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА ПАРОВ СМЕСЕЙ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Н.В. Белошицкий, канд. хим. наук, В.В. Нижник, канд. техн. наук, Н.В. Кравченко, А.Н. Тесленко, С.З. Цимбалистый

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

с избыточное давление взрыва паров
горючих жидкостей,
стехиометрическая концентрация,
интенсивность испарения, пожарная
безопасность промышленных
объектов.

АННОТАЦИЯ

В статье приведены особенности расчета избыточного давления взрыва паров смесей горючих жидкостей в помещении в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Определение категорий помещений, зданий и внешних установок за взрывопожарной и пожарной опасностью.