

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**МАТЕРІАЛЬНИЙ ТА ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС
ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ**

**Методичні вказівки та завдання для виконання розрахункової
роботи курсантами та студентами напрямів підготовки
6.170203 “Пожежна безпека”, 6.170201 “Цивільний захист”**

Лавренюк О.І., Баланюк В.М. Матеріальний та тепловий баланс процесу горіння. Методичні вказівки та завдання для виконання розрахункової роботи курсантами та студентами напрямів підготовки 6.170203 “Пожежна безпека”, 6.170201 “Цивільний захист”. – Львів: ЛДУБЖД, 2012 р. – 18 с.

Затверджено на засіданні кафедри процесів горіння та загальної хімії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (протокол № 3 від “24” вересня 2012 року).

Література

1. Основи теорії розвитку і припинення горіння / Єлагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М. – Черкаси: ЧПБ, 2001. – 448с.
2. Демидов П.Г. Горение и свойства горючих веществ / Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. – М: Химия, 1981. – 272 с.
3. Бронишевский П.Г. Специальная химия / Бронишевский П.Г., Шандыба В.А. – М: МВД СССР. Управление учебных заведений, 1979. – 115 с.
4. Процессы горения / Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К., Крылов Е.В. – М: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1984. – 255 с.
5. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. – М: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1980. – 255 с.
6. Демидов П.Г. Горение и свойства горючих веществ / Демидов П.Г., Саушев В.С. – М: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1975. – 272 с.
7. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник. Книга 1-2. Под ред. Баратова А.Н. и Корольченко А.Я. – М: Химия, 1990. – 495 с. + 384 с.
8. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ / Монахов В.Т. – М: Химия, 1979. – 423с.

1. Загальні вказівки

Методичні вказівки розроблені відповідно до навчальної програми з предметів теорія розвитку та припинення горіння і теорія горіння і вибуху з підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр з напрямів підготовки 6.170203 “Пожежна безпека”, 6.170201 “Цивільний захист”. Основною метою розрахункової роботи є закріплення та поглиблення набутих курсантом (студентом) теоретичних знань.

Під час виконання розрахункової роботи курсанти (студенти) повинні засвоїти методики розв’язку задач турбулентної масо- і теплопередачі. При горінні на пожежах інтенсивність процесу визначається швидкістю надходження кисню з навколишнього середовища в зону горіння. Швидкість протікання хімічних реакцій горіння значно перевищує швидкість таких фізичних процесів як дифузія компонентів, які в недостатці, в зону реакції і передача тепла із зони горіння горючим речовинам для підготовки їх до хімічної взаємодії. Власне ці два процеси – дифузія і теплопередача є лімітуючими. Тому визначення інтенсивності процесу тепловиділення і утворення продуктів горіння дає можливість фахівцям об’єктивно спрогнозувати динаміку розвитку пожеж, розробляти науково обґрунтовані методи ефективного захисту від пожеж, розробляти нові ефективні засоби і способи гасіння пожеж.

Розрахункова робота повинна бути виконана на аркушах паперу формату А4 (297×210 мм) білого кольору. Текст пишеться розбірливо від руки кульковою ручкою або чорнилами фіолетового (чорного) кольору. Першою сторінкою є титульний лист, зразок наведено в додатку 1. На другій сторінці необхідно обов’язково вказати індивідуальний номер та завдання.

Для виконання розрахункової роботи необхідно вивчити лекційний матеріал, відповідні розділи літератури, наведеної в кінці даних методичних вказівок.

2. Завдання для виконання розрахункової роботи

Визначити стехіометричну концентрацію, об’єм повітря, необхідного для згоряння m г горючої речовини при надлишку повітря α , температурі $t^\circ\text{C}$, тиску P кПа, об’єм продуктів згоряння та їх відсотковий склад, нижчу та вищу теплоту згоряння.

Вихідні дані для виконання розрахункової роботи вибираються з таблиці 1 додатку 2 цих методичних вказівок згідно з завданням. Завдання визначає керівник розрахункової роботи за номером взводу (групи) та за порядковим номером курсанта (студента).

3. Методика виконання розрахункової роботи

3.1. Визначення стехіометричної концентрації горючої речовини в суміші з окисником

Горюча суміш, склад якої відповідає рівнянню реакції горіння, називається сумішшю стехіометричного складу. Такі суміші є найбільш реакційноздатними, а тому й найбільш пожежонебезпечними, бо вони легше займаються, в них швидше поширюється процес горіння та виділяється максимальна кількість тепла. Тому в практичній діяльності необхідно вміти передбачати та розраховувати умови, при яких дана горюча речовина буде утворювати з повітрям найбільш небезпечні в пожежному відношенні системи. Концентрація горючої речовини, яка відповідає стехіометричній суміші, називається **стехіометричною концентрацією**.

Для визначення об'ємної стехіометричної концентрації горючої речовини використовують розрахункові формули:

– стехіометрична концентрація горючої речовини в суміші з повітрям:

$$\varphi_{cm}^o = \frac{100}{1 + 4,76\beta}, \%$$

Масову концентрацію речовини можна отримати знаючи об'ємну концентрацію, використовуючи формулу перерахунку:

$$\varphi'_{cm} = \frac{10 \cdot \varphi_{cm}^o \cdot M}{V_m}, \text{ г/м}^3,$$

де M – мольна маса горючої речовини, г/моль;

V_m – мольний об'єм газу, л/моль.

Наведені формули справедливі лише для нормальних умов ($P_o=101,3$ кПа, $T_o=273$ К). Для переходу до дійсних умов необхідно

№ п/п	Речовина	Хімічна формула	Теплота утворення, кДж/моль
80.	Піридин	C_5H_5N	140,6
81.	Пропаналь	C_3H_6O	– 221,7
82.	<i>n</i> -Пропіламін	C_3H_9N	– 101,5
83.	Пропілбензол	C_9H_{12}	7,9
84.	Пропілізовалеріат	$C_8H_{16}O_2$	– 378,25
85.	<i>n</i> -Пропіловий спирт	C_3H_8O	– 257,7
86.	Пропілциклопентан	C_8H_{16}	– 148,0
87.	Стирол	C_8H_8	155,6
88.	Тетрагідрофуран	C_4H_8O	– 214
89.	<i>n</i> -Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	– 332,1
90.	Толуол	C_7H_8	50,17
91.	<i>n</i> -Тридекан	$C_{13}H_{28}$	– 311,5
92.	2,2,4-Триметилпентан	C_8H_{18}	– 224,0
93.	<i>n</i> -Ундекан	$C_{11}H_{24}$	– 270,3
94.	Ундеканол	$C_{11}H_{24}O$	– 422,5
95.	Фенол	C_6H_6O	– 94,2
96.	Формальдегід	CH_2O	– 115,9
97.	Циклогексан	C_6H_{12}	– 123,13
98.	Циклогексанол	$C_6H_{12}O$	– 294,5
99.	Циклогексен	C_6H_{10}	– 5,36
100.	Циклопентан	C_5H_{10}	– 77,2

№ п/п	Речовина	Хімічна формула	Теплота утворення, кДж/моль
47.	<i>n</i> -Етилтолуол	C ₉ H ₁₂	- 3,2
48.	Етилформіат	C ₃ H ₆ O ₂	- 371,2
49.	Етилциклогексан	C ₈ H ₁₆	- 171,7
50.	Етилциклопентан	C ₇ H ₁₄	- 127
51.	Ізобутиловий спирт	C ₄ H ₁₀ O	- 283,2
52.	Ізопентан	C ₅ H ₁₂	- 154,5
53.	Ізопропіловий спирт	C ₃ H ₈ O	- 272,4
54.	<i>o</i> -Крезол	C ₇ H ₈ O	- 153
55.	<i>n</i> -Ксилол	C ₈ H ₁₀	- 24,4
56.	Кумол	C ₉ H ₁₂	- 21,5
57.	Мезитилен	C ₉ H ₁₂	- 15,9
58.	Метилацетат	C ₃ H ₆ O ₂	- 409,1
59.	Метилловий спирт	CH ₄ O	- 201,3
60.	2-Метилпентаналь	C ₆ H ₁₂ O	- 249,1
61.	2-Метилпропанол-1	C ₄ H ₁₀ O	- 283,2
62.	Метилпропілкетон	C ₅ H ₁₀ O	- 258,6
63.	<i>o</i> -Метилстирол	C ₉ H ₁₀	- 112,9
64.	Метилформіат	C ₂ H ₄ O ₂	- 349,8
65.	Метилциклогексан	C ₇ H ₁₄	- 154,7
66.	Метилциклопентан	C ₆ H ₁₂	- 106,6
67.	Мурашина кислота	CH ₂ O ₂	- 378,6
68.	<i>n</i> -Нонан	C ₉ H ₂₀	- 229,0
69.	<i>n</i> -Октан	C ₈ H ₁₈	- 208,0
70.	<i>n</i> -Октиловий спирт	C ₈ H ₁₈ O	- 426,5
71.	Оцтова кислота	C ₂ H ₄ O ₂	- 437,3
72.	Оцтовий ангідрид	C ₄ H ₆ O ₃	- 328,0
73.	Октен-1	C ₈ H ₁₆	- 121,8
74.	<i>n</i> -Пентадекан	C ₁₅ H ₃₂	- 352,75
75.	Пентадієн-1,3	C ₅ H ₈	81,5
76.	<i>n</i> -Пентан	C ₅ H ₁₂	- 146,4
77.	Пентанол-3	C ₅ H ₁₂ O	- 316,7
78.	Пентанон-2	C ₅ H ₁₀ O	- 258,6
79.	γ-Піколін	C ₆ H ₇ N	56,8

обчислити мольний об'єм газу за даних умов, використовуючи об'єднаний газовий закон Бойля – Маріотта і Гей-Люссака:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_o \cdot V_o}{T_o},$$

звідси:

$$V_m = 22,4 \cdot \frac{101,3 \cdot T}{273 \cdot P}, \text{ л/моль}$$

де T – задана температура, К;

P – заданий тиск, кПа.

3.2. Розрахунок матеріального балансу процесу горіння

На практиці доволі часто доводиться обчислювати кількісні співвідношення між компонентами початкових і кінцевих продуктів горіння, тобто проводити розрахунок матеріального балансу процесу горіння. Матеріальний баланс будь-якого процесу, в тому числі і процесу горіння, складається на основі закону збереження маси. Враховуючи те, що горіння відбувається за рахунок активних зіткнень молекул горючої речовини і окисника, в результаті чого утворюються молекули нових речовин, які називають продуктами реакції або продуктами згоряння, рівняння матеріального балансу процесу горіння можна записати в наступному вигляді:

$$m_{ng} = m_{gp} + m_{ок},$$

де m_{gp} – маса горючої речовини;

$m_{ок}$ – маса окисника;

m_{ng} – маса продуктів згоряння.

Отже, розрахунок матеріального балансу процесу горіння зводиться до визначення об'єму повітря, необхідного для згоряння горючої речовини, та об'єму продуктів згоряння, які при цьому утворюються.

Об'єм повітря, який необхідний для згоряння горючої речовини, називається *теоретичним об'ємом повітря* і визначається за формулою:

$$V_n = \frac{4,76 \cdot \beta \cdot m \cdot V_m}{M}, \text{ м}^3,$$

де m – маса горючої речовини, кг.

При горінні будь-якого об'єму газу теоретичний об'єм повітря визначають за формулою:

$$V_n = 4,76 \cdot \beta \cdot V, \text{ м}^3,$$

де V – об'єм горючої речовини, м^3 .

В умовах реальної пожежі в зону реакції горіння повітря надходить більше, ніж необхідно для повного згорання речовини. Відношення об'єму повітря, що потрапив у зону реакції горіння до теоретично необхідного об'єму повітря для повного згорання речовини називається *коефіцієнтом надлишку повітря*.

$$\alpha = \frac{V_n^{\text{д}}}{V_n}$$

Надлишок повітря, що надходить у зону реакції горіння цілком переходить у продукти горіння.

Дійсний об'єм повітря – об'єм повітря, що надходить на згорання горючої речовини в реальних умовах, можна визначити так:

$$V_n^{\text{д}} = V_n \cdot \alpha = \frac{4,76 \cdot \beta \cdot m \cdot V_m \cdot \alpha}{M}, \text{ м}^3$$

Речовини й агломерати, які утворюються в результаті горіння називають *продуктами згорання*. До продуктів згорання також відносять нейтральні домішки, що містилися в суміші як до, так і після реакції, і ту частину горючої речовини чи матеріалу й окисника, що не взяли участі в реакції. Об'єм продуктів згорання визначають за формулами:

– теоретичний об'єм продуктів згорання:

№ п/п	Речовина	Хімічна формула	Теплота утворення, кДж/моль
14.	Бензол	C_6H_6	82,9
15.	Бензонітрил	$\text{C}_7\text{H}_5\text{N}$	– 218,8
16.	Бутаналь	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$	– 205,0
17.	Бутанова кислота	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	– 486,3
18.	Бутанон-2	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$	– 238,3
19.	<i>n</i> -Бутилацетат	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	– 526,0
20.	<i>n</i> -Бутилбензол	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}$	– 13,7
21.	<i>n</i> -Бутиловий спирт	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	– 274,6
22.	Бутилфенол	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	– 285,12
23.	Бутилформіат	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	– 437,6
24.	Валеріановий альдегід	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$	– 227,8
25.	Гексадекан	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	– 373,3
26.	<i>n</i> -Гексан	C_6H_{14}	– 167,2
27.	Гексен-1	C_6H_{12}	– 74,1
28.	<i>n</i> -Гексиловий спирт	$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$	– 319,8
29.	<i>n</i> -Гептан	C_7H_{16}	– 187,7
30.	Гептанон-2	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	– 291,9
31.	Гептен-1	C_7H_{14}	– 97,9
32.	<i>n</i> -Гептиловий спирт	$\text{C}_7\text{H}_{16}\text{O}$	– 335,1
33.	Гліцерин	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	– 668,5
34.	<i>n</i> -Декан	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	– 249,6
35.	<i>n</i> -Дециловий спирт	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{O}$	– 403,5
36.	2,2-Диметилпентан	C_7H_{16}	– 206,1
37.	Дипропіловий ефір	$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$	– 293,4
38.	Діацетоновий спирт	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	– 425,0
39.	Діетиламін	$\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$	71,7
40.	Діетиловий ефір	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	– 252,2
41.	Діоксан-1,4	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	– 353,9
42.	<i>n</i> -Додекан	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	– 290,9
43.	Етилацетат	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	– 442,9
44.	Етилбензол	C_8H_{10}	29,9
45.	Етиленгліколь	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	– 453,8
46.	Етиловий спирт	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	– 234,9

Стандартна теплота утворення речовин

№ п/п	Речовина	Хімічна формула	Теплота утворення, кДж/моль
Неорганічні речовини			
1.	Вода (газ)	H ₂ O	-241,84
2.	Вода (рідина)	H ₂ O	-285,84
3.	Карбон (IV) оксид	CO ₂	-393,78
4.	Сульфур (IV) оксид	SO ₂	-296,90
5.	Фосфор (V) оксид	P ₂ O ₅	-1548,1
6.	Гідроген хлорид	HCl	-92,30
7.	Гідроген фторид	HF	-268,61
8.	Гідроген бромід	HBr	-35,98
9.	Гідроген йодид	HI	25,94
10.	Карбон (II) оксид	CO	-110,50
11.	Сульфур (VI) оксид	SO ₃	-395,20
12.	Гідроген сульфід	H ₂ S	-20,15
13.	Нітроген (II) оксид	NO	90,37
14.	Амоніак	NH ₃	-46,19
15.	Гідроген ціанід	HCN	130,54
Органічні речовини			
1.	Акролеїн	C ₃ H ₄ O	- 58,5
2.	Аліловий спирт	C ₃ H ₆ O	- 131,8
3.	Амілацетат	C ₇ H ₁₄ O ₂	- 556,8
4.	Амілбензол	C ₁₁ H ₁₆	- 34,4
5.	Амілен	C ₅ H ₁₀	- 28,05
6.	n-Аміловий спирт	C ₅ H ₁₂ O	- 302,5
7.	Амілциклогексан	C ₁₁ H ₂₂	- 233,8
8.	Анілін	C ₆ H ₇ N	109,0
9.	Ацетальдегід	C ₂ H ₄ O	- 166,36
10.	Ацетон	C ₃ H ₆ O	- 217,57
11.	Ацетонітрил	C ₂ H ₃ N	- 79,9
12.	Бензальдегід	C ₇ H ₆ O ₂	- 87,0
13.	Бензиловий спирт	C ₇ H ₈ O	- 160,7

$$V_{n_2} = \frac{n_{n_2} \cdot m \cdot V_m}{M}, \text{ м}^3$$

– дійсний об'єм продуктів згорання:

$$V_{n_2}^0 = V_{n_2} + (\alpha - 1) \cdot V_n, \text{ м}^3$$

Теоретичний об'єм продуктів згорання для речовин у газоподібному стані визначають за формулою:

$$V_{n_2} = n_{n_2} \cdot V, \text{ м}^3$$

При визначенні відсоткового складу продуктів реакції кількість молів всіх продуктів горіння позначаємо за 100%, а вміст кожного окремо продукту реакції за невідоме. В результаті вміст *i*-го компонента продуктів реакції можна визначити із пропорції:

$$\varphi = \frac{n_i \cdot 100}{n_{n_2}}, \%$$

За умови перебігу горіння з надлишком повітря в продуктах згорання буде присутній кисень, а при розрахунку вмісту азоту необхідно враховувати і азот, який поступив у продукти згорання з надлишковим повітрям:

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{(\alpha - 1) \cdot \beta \cdot 100}{n_{n_2}}, \%$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{3,76 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot 100}{n_{n_2}}, \%$$

В даному випадку необхідно враховувати дійсну кількість молів продуктів згорання, яке можна обчислити за формулою:

$$n_{n_2}^o = n_{n_2} + (\alpha - 1) \cdot n_n,$$

де n_n – кількість молів повітря

$$n_n = 4,76 \cdot \beta$$

3.3. Розрахунок теплового балансу процесу горіння

Енергетичний баланс процесу горіння базується на законі збереження енергії. Розрахунок параметрів енергетичного балансу процесу горіння проводять на основі термохімічного рівняння реакції горіння, тобто хімічного рівняння, яке включає тепловий ефект реакції.

Кількість теплоти, яка виділяється при згорянні одиниці кількості речовини з утворенням продуктів повного згорання називається **теплотою згорання** (тепловим ефектом реакції горіння).

Згідно закону Гесса теплота реакції будь-якого хімічного процесу залежить лише від початкового і кінцевого стану системи, а не від проміжних стадій, тобто не залежить від шляху по якому перебігає цей процес. Звідси випливає, що тепловий ефект будь-якої хімічної реакції дорівнює різниці сум теплоти утворення кінцевих продуктів і сум теплоти утворення вихідних речовин цієї реакції. Враховуючи те, що теплота утворення простих речовин (кисню і азоту) дорівнює нулю, теплоту реакції горіння можна представити наступним математичним виразом:

$$\Delta H^o = \sum_{i=1}^n \Delta H_{f(n_2)i}^o \cdot n_{(n_2)i} - \Delta H_{f(zp)}^o, \text{ кДж/моль}$$

де $\Delta H_{f(n_2)i}^o$ – стандартна теплота утворення i -ого компоненту продуктів згорання, кДж/моль;

$n_{(n_2)i}$ – кількість молів i -ого компоненту продуктів згорання;

$\Delta H_{f(zp)}^o$ – стандартна теплота утворення горючої речовини в газоподібному стані, кДж/моль.

Для обчислення теплоти згорання стандартну (при температурі 25°C і тиску 101,3 кПа) теплоту утворення продуктів згорання і

$$\Delta H_f^o (\text{CO}_2) = -393,78 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_f^o (\text{H}_2\text{O}_{\text{газ}}) = -241,84 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_f^o (\text{H}_2\text{O}_{\text{рідина}}) = -285,84 \text{ кДж/моль}.$$

12. Визначаємо мольну теплоту згорання за законом Гесса, враховуючи при розрахунку нижчої теплоти згорання стандартну теплоту утворення води у вигляді газу, а при розрахунку вищої теплоти згорання – у вигляді рідини:

$$Q_n = \left| \Delta H_f^o (\text{CO}_2) \cdot n(\text{CO}_2) - \Delta H_f^o (\text{H}_2\text{O}_{\text{газ}}) \cdot n(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f^o (\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) \right| =$$

$$= \left| -393,78 \cdot 2 - 241,84 \cdot 3 + 234,9 \right| = 1278,2 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_e = \left| \Delta H_f^o (\text{CO}_2) \cdot n(\text{CO}_2) - \Delta H_f^o (\text{H}_2\text{O}_{\text{рідина}}) \cdot n(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f^o (\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) \right| =$$

$$= \left| -393,78 \cdot 2 - 285,84 \cdot 3 + 234,9 \right| = 1410,2 \text{ кДж/моль}$$

13. Розраховуємо масову теплоту згорання етилового спирту:

$$Q'_n = \frac{1000 \cdot Q_n}{M} = \frac{1000 \cdot 1278,2}{46} = 27787,0 \text{ кДж/кг}$$

$$Q'_e = \frac{1000 \cdot Q_e}{M} = \frac{1000 \cdot 1410,2}{46} = 58443,5 \text{ кДж/кг}$$

14. Розраховуємо об'ємну теплоту згорання етилового спирту:

$$Q_n^o = \frac{1000 \cdot Q_n}{V_m} = \frac{1000 \cdot 1278,2}{22,4} = 57062,5 \text{ кДж/м}^3$$

$$Q_e^o = \frac{1000 \cdot Q_e}{V_m} = \frac{1000 \cdot 1410,2}{22,4} = 62955,4 \text{ кДж/м}^3$$

7. Визначаємо теоретичний об'єм повітря та продуктів згоряння:

$$V_n = \frac{4,76 \cdot \beta \cdot m \cdot V_M}{M} = \frac{4,76 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 23,5}{46} = 7,3 \text{ м}^3$$

$$V_{n_2} = \frac{n_{n_2} \cdot m \cdot V_M}{M} = \frac{16,3 \cdot 1 \cdot 23,5}{46} = 8,3 \text{ м}^3$$

8. Визначаємо дійсний об'єм повітря та продуктів згоряння:

$$V_n^0 = V_n \cdot \alpha = 7,3 \cdot 1,8 = 13,1 \text{ м}^3$$

$$V_{n_2}^0 = V_{n_2} + (\alpha - 1) \cdot V_n = 8,3 + (1,8 - 1) \cdot 7,3 = 14,1 \text{ м}^3$$

9. Розраховуємо дійсну кількість молів продуктів згоряння:

$$n_{n_2}^0 = n_{n_2} + (\alpha - 1) \cdot n_n = 16,3 + (1,8 - 1) \cdot 14,3 = 27,7$$

10. Визначаємо склад продуктів згоряння:

– вміст CO₂: $\varphi(\text{CO}_2) = \frac{n_{\text{CO}_2} \cdot 100}{n_{n_2}} = \frac{2 \cdot 100}{27,7} = 7,2\%$

– вміст H₂O: $\varphi(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 100}{n_{n_2}} = \frac{3 \cdot 100}{27,7} = 10,8\%$

– вміст O₂: $\varphi(\text{O}_2) = \frac{(\alpha - 1) \cdot \beta \cdot 100}{n_{n_2}} = \frac{(1,8 - 1) \cdot 3 \cdot 100}{27,7} = 8,7\%$

– вміст N₂: $\varphi(\text{N}_2) = \frac{3,76 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot 100}{n_{n_2}} = \frac{3,76 \cdot 1,8 \cdot 3 \cdot 100}{27,7} = 73,3\%$

11.3 таблиці 1 (додаток) визначаємо стандартні теплоти утворення етилового спирту, вуглекислого газу і води:

$$\Delta H_f^\circ (\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = -234,9 \text{ кДж/моль};$$

горючої речовини визначають з таблиці 1 (додаток 2).

Оскільки реакції горіння протікають із виділенням тепла, то знак “–” можна опустити, тоді формула для визначення теплоти згоряння матиме вигляд:

$$Q = |\Delta H^\circ|, \text{ кДж/моль}$$

$$Q = \left| \sum_{i=1}^n \Delta H_{f(n_2)i}^\circ \cdot n_{(n_2)i} - \Delta H_{f(zp)}^\circ \right|, \text{ кДж/моль}$$

Розрізняють нижчу та вищу теплоту згоряння. **Нижча теплота згоряння** (Q_H) розраховується в тих випадках, коли в результаті реакції горіння виділяється вода в газоподібному стані, а **вища теплота згоряння** (Q_v) – за умови виділення води у стані рідини (з врахуванням теплоти випаровування води).

На практиці окрім молярної теплоти згоряння Q [кДж/моль] часто користуються поняттями масової Q' [кДж/кг] та об'ємної Q'' [кДж/м³] теплоти згоряння речовини.

Для вираження масової та об'ємної теплоти згоряння індивідуальних речовин через молярну теплоту згоряння можна використати наступні формули:

$$Q' = \frac{1000 \cdot Q}{M}, \text{ кДж/кг}$$

$$Q'' = \frac{1000 \cdot Q}{V_M}, \text{ кДж/м}^3$$

де Q – молярна теплота згоряння, кДж/моль;

M – молярна маса, г/моль.

V_M – молярний об'єм газу, л/моль.

Зразок розрахункової роботи
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Кафедра процесів горіння та загальної хімії

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА
з теорії розвитку та припинення горіння на тему:
“МАТЕРІАЛЬНИЙ ТА ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС
ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ”

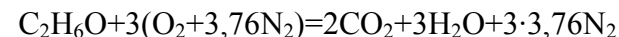
Виконав:
курсант взводу ПБ-21
Петренко Т.Р.

Львів 2012

Варіант 1.

Визначити стехіометричну концентрацію, об'єм повітря, необхідного для згорання 1 кг етилового спирту при надлишку повітря 1,8, температурі 10°C і тиску 100 кПа, об'єм продуктів згорання та їх відсотковий склад, нижчу та вищу теплоту згорання.

1. Складаємо рівняння реакції горіння етилового спирту в атмосфері повітря:



2. Розраховуємо об'ємну стехіометричну концентрацію етилового спирту в суміші з повітрям:

$$\varphi_{cm}^o = \frac{100}{1 + 4,76\beta} = \frac{100}{1 + 4,76 \cdot 3} = 6,54\%$$

3. Розраховуємо мольну масу етилового спирту:

$$M(C_2H_6O) = 2 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + 1 \cdot 16 = 46 \text{ г/моль}$$

4. Визначаємо мольний об'єм газу при заданих умовах:

$$V_m = 22,4 \cdot \frac{101,3 \cdot T}{273 \cdot P} = 22,4 \cdot \frac{101,3 \cdot 283}{273 \cdot 100} = 23,5 \text{ л/моль}$$

5. Розраховуємо масову стехіометричну концентрацію:

$$\varphi'_{cm} = \frac{10 \cdot \varphi_{cm}^o \cdot M}{V_m} = \frac{10 \cdot 6,54 \cdot 46}{23,5} = 128,01 \text{ г/м}^3$$

6. Обчислюємо кількість молів повітря та продуктів згорання:

$$n_n = 4,76 \cdot \beta = 4,76 \cdot 3 = 14,3$$

$$n_{n_2} = 2 + 3 + 3 \cdot 3,76 = 16,3$$