

Література

1. Єлагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М. Основи теорії розвитку і припинення горіння. – Черкаси: ЧПБ, 2001. – 448с.
2. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. – М: Химия, 1981. – 272 с.
3. Бронишевский П.Г., Шандыба В.А. Специальная химия. – М: МВД СССР. Управление учебных заведений, 1979. – 115 с.
4. Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К., Крылов Е.В. Процессы горения. – М: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1984. – 255 с.
5. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. – М: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1980. – 255 с.
6. Демидов П.Г., Саушев В.С. Горение и свойства горючих веществ. – 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. – М: Химия, 1979. – 423с.

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ ДИФУЗІЙНОГО ПОЛУМ'Я ТА
ТЕМПЕРАТУРИ ГОРІННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН**
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. Визначення кольору дифузійного полум'я та температури горіння органічних речовин. 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. – 16 с.

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

1. Загальні вказівки

Методичні вказівки розроблені відповідно до навчальної програми з предмету 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 визначення кольору дифузійного полум'я та температури горіння органічних речовин. На основі проведених розрахунків, зокрема за кольором полум'я, можна визначити режим горіння речовини відомого складу. Так, якщо колір дифузійного полум'я деякої горючої речовини за розрахунками має бути яскравим, а на практиці ця речовина горить блакитним полум'ям, то це свідчить про те, що горіння протікає в кінетичному режимі. Жовтий колір полум'я притаманний для дифузійного режиму горіння.

За кольором дифузійного полум'я можна визначити також орієнтовний склад невідомої горючої речовини. Яскраве та кіптяве полум'я є ознакою того, що горить речовина з великим вмістом карбону. Речовини з малим вмістом карбону або речовини, які містять невелику кількість кисню горять яскравим не кіптявим полум'ям. Якщо дифузійне полум'я є блакитним, то горить речовина з малим вмістом карбону і великим вмістом кисню.

Визначення температури горіння дає можливість спрогнозувати величину максимального тиску при вибуху, параметри розвитку пожежі в приміщенні, а саме температуру пожежі та висоту нейтральної зони.

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 колір дифузійного полум'я та адіабатичну температуру горіння речовини, якщо горіння протікало з надлишком повітря α .

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 кольору дифузійного полум'я

Полум'я – вогонь, який складається з аерозольних і (або) газоподібних речовин, що випромінюють світло.

Колір полум'я органічних речовин при горінні в атмосфері повітря залежить від їх хімічного складу і, в основному, від вмісту кисню і карбону. Кисень, що міститься в горючій речовині, витрачається в процесі горіння на окислення елементів речовини.

Якщо в горючій речовині достатньо кисню, то весь карбон в підготовчій зоні встигає попередньо окислитися до СО, а потім в зоні горіння карбон (II) оксид згоряє з утворенням вуглекислого газу. У цьому випадку полум'я буде безбарвним або слабо-блакитним.

Малий вміст кисню в горючій речовині призводить до того, що карбон не встигає згоряти і виділяється у вигляді сажі. Полум'я в цьому випадку буде яскравим та кіптявим.

При потраплянні в зону горіння частинок карбону, який здатен поглинати всі світлові промені, відбувається термічне випромінювання. Полум'я стає жовтого кольору і, за умови достатнього доступу повітря, без кіптяви.

Отже, характер світіння дифузійного полум'я можна визначити за вмістом кисню та карбону в горючій речовині (таблиця 1 додатку 2).

3.2. Розрахунок адіабатичної температури горіння речовин при постійному тиску

Найчастіше температуру горіння речовин визначають за допомогою методу лінійної інтерполяції:

№ п/п	Речовина	Формула	Теплота утворення ΔH_f° , кДж/моль
88.	Пропілциклогексан	C_9H_{18}	-193,3
89.	Пропілциклопентан	C_8H_{16}	-148,0
90.	Пропілетилкетон	$C_6H_{12}O$	-272,0
91.	Пропіонова кислота	$C_3H_6O_2$	-466,0
92.	Пропіононий ангідрид	$C_6H_{10}O_3$	-289,0
93.	Стирол	C_8H_8	155,6
94.	Тетрагідрофуран	C_4H_8O	-214,0
95.	Тетраметилбензол	$C_{10}H_{14}$	-41,9
96.	Тетраметилгептан	$C_{11}H_{24}$	-276,2
97.	Тетраметилпентан	C_9H_{20}	-273,2
98.	Толуол	C_7H_8	50,17
99.	Тридекан	$C_{13}H_{28}$	-311,5
100.	Триметилбензол	C_9H_{12}	-15,9

Таблиця 2

Залежність кольору полум'я від вмісту компонентів

Вміст компонентів в горючій речовині, %		Характер полум'я
карбон	кисень	
менше 50	більше 30	безбарвне
50 – 75	відсутній або менше 30	яскраве, без кіптяви
більше 75	відсутній або менше 25	яскраве, із кіптявою

№ п/п	Речовина	Формула	Теплота утворення ΔH_f° , кДж/моль
55.	Мезитилен	C ₉ H ₁₂	-15,9
56.	Метиламінол	C ₆ H ₁₄ O	-344,2
57.	Метилацетат	C ₃ H ₆ O ₂	-409,1
58.	Метилбутират	C ₅ H ₁₀ O ₂	-485,0
59.	Метилгексан-2	C ₇ H ₁₆	-194,9
60.	Метанол	CH ₄ O	-201,3
61.	Метилпентальдегід	C ₆ H ₁₂ O	-249,1
62.	Метилпропіонат	C ₄ H ₈ O ₂	-438,8
63.	Метилпропілкетон	C ₅ H ₁₀ O	-258,6
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.	Метоксіетилацетат	C ₅ H ₁₀ O ₃	-573,6
68.	Мурашина кислота	CH ₂ O ₂	-210,6
69.	м-Ксилол	C ₈ H ₁₀	17,25
70.	Нонан	C ₉ H ₂₀	-229,0
71.	Ноніловий спирт	C ₉ H ₂₀ O	-387,0
72.	Октан	C ₈ H ₁₈	-208,0
73.	Октаналь	C ₈ H ₁₆ O	-643,96
74.	Октанова кислота	C ₈ H ₁₆ O ₂	-565,3
75.	Октиловий спирт	C ₈ H ₁₈ O	-357,0
76.	Октилциклогексан	C ₁₄ H ₂₈	-295,6
77.	Пентан	C ₅ H ₁₂	-146,4
78.	Пентанол-2	C ₅ H ₁₂ O	-314,13
79.	Піридин	C ₅ H ₅ N	140,6
80.	Пірол	C ₄ H ₅ N	63,0
81.	Пропаналь	C ₃ H ₆ O	-221,7
82.	Пропіламін	C ₃ H ₉ N	-101,5
83.	Пропілбензол	C ₉ H ₁₂	-7,9
84.	Пропілбутират	C ₇ H ₁₄ O ₂	-556,8
85.	Пропіленгліколь	C ₃ H ₈ O ₂	-499,9
86.	Пропанол-3	C ₃ H ₈ O	-257,7
87.	Пропілформіат	C ₄ H ₈ O ₂	-417,0

$$T_2 = T_1 + \frac{(T_2 - T_1) \cdot (Q_n - Q_{n21})}{(Q_{n22} - Q_{n21})}, \text{ К}$$

де T_1, T_2 – температура горіння в першому та другому наближенні відповідно, К;

Q_n – нижча теплота згорання, кДж/моль;

Q_{n21}, Q_{n22} – теплота продуктів згорання при температурі T_1 та T_2 відповідно, кДж/моль.

Як відомо, продукти згорання в основному складаються з азоту. Тому температуру горіння в першому наближенні T_1 визначають за значенням середньої ентальпії продуктів згорання (H_{cp}), орієнтуючись на ентальпію азоту (таблиці 3, 4 додатку). Оскільки ентальпія карбон (IV) оксиду і парів води є вищою, ніж азоту, то їх присутність в продуктах горіння знижує температуру горіння, тому її необхідно приймати дещо нижчою, ніж за азотом.

Середню ентальпію продуктів згорання обчислюють за формулою:

$$H_{cp} = \frac{Q_n}{n_{n2}}, \text{ кДж/моль}$$

Для визначення температури горіння в другому наближенні T_2 необхідно порівняти значення теплоти продуктів горіння при температурі T_1 зі значенням нижньої теплоти згорання.

$$\begin{aligned} \text{Якщо } Q_{n21} < Q_n, \text{ то } T_2 > T_1, \\ \text{якщо } Q_{n21} > Q_n, \text{ то } T_2 < T_1. \end{aligned}$$

Теплоту продуктів згорання при температурі T_1 та T_2 обчислюють за формулою:

$$Q_{n21(2)} = \sum (H_{n2i(2)} \cdot n_{n2i}), \text{ кДж/моль},$$

де $H_{n2i(2)}$ – ентальпія i -го компонента продуктів згорання при температурі T_1 та T_2 відповідно, кДж/моль;

n_{n2i} – кількість молів i -го компонента продуктів згорання.

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

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА
з теорії розвитку та припинення горіння на тему:
“ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ ДИФУЗІЙНОГО ПОЛУМ’Я ТА
ТЕМПЕРАТУРИ ГОРІННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН”

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

Львів 2012

№ п/п	Речовина	Формула	Теплота утворення ΔH_f° , кДж/моль
22.	Бутилфенол	$C_{10}H_{14}O$	-285,12
23.	Бутилформіат	$C_5H_{10}O_2$	-437,6
24.	Валеріанова кислота	$C_5H_{10}O_2$	-490,4
25.	Валеріановий альдегід	$C_5H_{10}O$	-227,8
26.	Валеролактон	$C_5H_8O_2$	-421,14
27.	Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	-373,3
28.	Гексадієн	C_6H_{10}	-94,1
29.	Гексан	C_6H_{14}	167,2
30.	Гексилметилкетон	$C_8H_{16}O$	-311,7
31.	Гексиловий спирт	$C_6H_{14}O$	-319,8
32.	Гептан	C_7H_{14}	-187,7
33.	Декан	$C_{10}H_{22}$	-249,6
34.	Діацетоновий спирт	$C_6H_{12}O_2$	-425,0
35.	Дибутиловий етер	$C_8H_{18}O$	-333,9
36.	Діізопропілкетон	$C_7H_{14}O$	-291,0
37.	Діоксан	$C_4H_8O_2$	-434,16
38.	Дипропіловий етер	$C_6H_{14}O$	-293,4
39.	Діетиламін	$C_4H_{11}N$	-137,34
40.	Діетиленгліколь	$C_4H_{10}O_3$	-642,84
41.	Діетилізопропілметан	C_8H_{18}	-211,2
42.	Діетилкетон	$C_5H_{10}O$	-252,0
43.	Діетиловий етер	$C_4H_{10}O$	-252,2
44.	Додекан	$C_{12}H_{26}$	-290,9
45.	Етилацетат	$C_4H_8O_2$	-442,9
46.	Етилбензол	C_8H_{10}	29,9
47.	Етиленгліколь	$C_2H_6O_2$	-453,8
48.	Етилтолуол	C_9H_{12}	-1,6
49.	Етилформіат	$C_3H_6O_2$	-371,2
50.	Етилциклогексан	C_8H_{16}	-171,7
51.	Ізопропенілбензол	C_9H_{10}	-112,9
52.	Крезол	C_7H_8O	-158,0
53.	Ксилідин	$C_8H_{11}N$	-85,26
54.	Кумол	C_9H_{12}	-21,5

Стандартна теплота утворення речовин

№ п/п	Речовина	Формула	Теплота утворення ΔH_f° , кДж/моль
Неорганічні речовини			
1.	Вода (газ)	H ₂ O	-241,84
2.	Вода (рідина)	H ₂ O	-285,84
3.	Карбону (IV) оксид	CO ₂	-393,78
4.	Сульфору (IV) оксид	SO ₂	-296,90
5.	Фтороводень	HF	-268,61
6.	Хлороводень	HCl	-92,30
7.	Бромоводень	HBr	-35,98
8.	Йодоводень	HI	25,94
Органічні речовини			
1.	Акрилова кислота	C ₃ H ₄ O ₂	-336,0
2.	Акролеїн	C ₃ H ₄ O	-58,5
3.	Аліловий спирт	C ₃ H ₆ O	-131,8
4.	Амілбензол	C ₁₁ H ₁₆	-34,4
5.	Амілметилкетон	C ₇ H ₁₄ O	-291,0
6.	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.	Ацетон	C ₃ H ₆ O	-217,57
10.	Ацетонітрил	C ₂ H ₃ N	-25,62
11.	Бензилбензоат	C ₁₄ H ₁₂ O ₂	-372,84
12.	Бензиловий спирт	C ₇ H ₈ O	-220,86
13.	Бензол	C ₆ H ₆	82,9
14.	Бутаналь	C ₄ H ₈ O	-205,0
15.	Бутандіол-2,3	C ₄ H ₁₀ O ₂	-445,5
16.	Бутанова кислота	C ₄ H ₈ O ₂	-486,3
17.	Бутанон	C ₄ H ₈ O	-238,3
18.	Ізобутилацетат	C ₆ H ₁₂ O ₂	-535,5
19.	Бутилбензол	C ₁₀ H ₁₄	-13,7
20.	Бутилметилкетон	C ₆ H ₁₂ O	-272,0
21.	Бутанол	C ₄ H ₁₀ O	-274,6

Варіант 1.

Визначити колір дифузійного полум'я діоксану-1,3 (C₄H₈O₂) та адіабатичну температуру горіння речовини, якщо горіння протікало з надлишком повітря 1,3.

1. Розраховуємо мольну масу горючої речовини:

$$M(C_4H_8O_2) = 4 \cdot 12 + 8 \cdot 1 + 2 \cdot 16 = 88 \text{ г/моль}$$

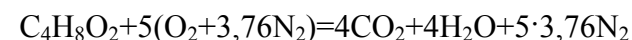
2. Визначаємо вміст кисню та карбону (%) в молекулі горючої речовини:

$$\text{вміст O: } \omega(O) = \frac{2 \cdot 16}{88} \cdot 100 = 36,4\%$$

$$\text{вміст C: } \omega(C) = \frac{4 \cdot 12}{88} \cdot 100 = 54,5\%$$

3. З таблиці 2 додатку 2 за результатами обчислень (вміст карбону в межах 50-75%) визначаємо колір дифузійного полум'я. При горінні діоксану-1,3 полум'я яскраве, без кіптяви.

4. Складаємо рівняння реакції горіння діоксану:



2. Визначаємо кількість молів повітря та продуктів згорання:

$$n_n = 4,76 \cdot \beta = 4,76 \cdot 5 = 23,8$$

$$n_{nz} = 4 + 4 + 5 \cdot 3,76 = 26,8$$

3. Визначаємо дійсну кількість молів продуктів горіння:

$$n_{nz}^o = n_{nz} + (\alpha - 1) \cdot n_n = 26,8 + (1,3 - 1) \cdot 23,8 = 33,9$$

4. За законом Гесса визначаємо нижчу молярну теплоту згорання діоксану:

$$Q_u = \left| \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) \cdot n(\text{CO}_2) - \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}_{\text{газ}}) \cdot n(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H_f^\circ(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) \right| =$$

$$= |4 \cdot (-393,79) + 4 \cdot (-241,84) - (-434,16)| = 2108,4 \text{ кДж/моль}$$

5. Визначаємо середню ентальпію продуктів згорання:

$$H_{cp} = \frac{Q_u}{n_{ne}} = \frac{2108,4}{33,9} = 62,2 \text{ кДж/моль}$$

6. Орієнтуючись на ентальпію азоту, з таблиці 3 додатку визначаємо температуру горіння T_1 в першому наближенні:

$$T_1 = 1800 \text{ К}$$

7. Обчислюємо тепловміст продуктів горіння Q_{nz1} при температурі горіння T_1 :

$$Q_{nz1} = H(\text{CO}_2) \cdot n(\text{CO}_2) + H(\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{H}_2\text{O}) + H(\text{N}_2) \cdot n(\text{N}_2) + H_n \cdot n_n(\alpha - 1) =$$

$$= 88,815 \cdot 4 + 72,807 \cdot 4 + 57,647 \cdot 5 \cdot 3,76 + 58,20 \cdot 5 \cdot 4,76 \cdot (1,3 - 1) =$$

$$= 2145,80 \text{ кДж/моль};$$

8. Визначаємо температуру горіння T_2 у другому наближенні. Враховуючи те, що тепловміст продуктів згорання при температурі T_1 виявився більшим за нижню теплоту згорання, то температура T_2 повинна бути меншою за T_1 . Отже:

$$T_2 = 1600 \text{ К}$$

9. Обчислюємо тепловміст продуктів горіння Q_{nz2} при температурі горіння T_2 :

$$Q_{nz2} = H(\text{CO}_2) \cdot n(\text{CO}_2) + H(\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{H}_2\text{O}) + H(\text{N}_2) \cdot n(\text{N}_2) + H_n \cdot n_n(\alpha - 1) =$$

$$76,95 \cdot 4 + 62,986 \cdot 4 + 50,573 \cdot 5 \cdot 3,76 + 51,05 \cdot 5 \cdot 4,76 \cdot (1,3 - 1) =$$

$$= 1875,01 \text{ кДж/моль};$$

10. Визначаємо температуру горіння діоксану методом лінійної інтерполяції

$$T_2 = T_1 + \frac{(T_2 - T_1) \cdot (Q_u - Q_{nz1})}{(Q_{nz2} - Q_{nz1})} =$$

$$= 1800 + \frac{(1600 - 1800) \cdot (2108,4 - 2145,80)}{(1875,01 - 2145,80)} = 1772 \text{ К}$$