



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

Національного університету цивільного захисту України

Факультет оперативно-рятувальних сил

Кафедра фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ
КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ**

з навчальної дисципліни

«ТЕОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ»

для студентів відділення заочного навчання, підготовка яких
здійснюється за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

галузь знань 26 «Цивільна безпека»

спеціальність 261 «Пожежна безпека»

Черкаси 2022

Єлагін Г. І., Нуянзін В. М., Майборода А. О. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з навчальної дисципліни «Теорія розвитку та припинення горіння» для студентів відділення заочного навчання, підготовка яких здійснюється за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти галузь знань 26 «Цивільна безпека», спеціальність 261 «Пожежна безпека». – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2022. – с. 62.

Упорядники: інженер науково-дослідної лабораторії інновацій у сфері цивільної безпеки кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник Георгій ЄЛАГІН, начальник кафедри фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж кандидат технічних наук, доцент Віталій НУЯНЗІН, доцент кафедри фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж кандидат педагогічних наук, доцент Артем МАЙБОРОДА.

Рецензент:

Професор кафедри об'єктів будівництва та охорони праці Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, доктор технічних наук, доцент Тетяна КОСТЕНКО

Розглянуто на засіданні кафедри фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

Протокол від 07.06.2022 року № 10.

З М І С Т

ВСТУП	4
ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ З ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ.....	7
1.1. Основні поняття дисципліни «Теорія розвитку та припинення горіння».....	7
1.2. Загальні відомості про процес горіння.....	8
1.3. Матеріальний баланс процесу горіння	9
1.4. Теплота згоряння і її баланс.....	13
РОЗДІЛ 2. ВИНИКНЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ.....	17
2.1 Самоспалахування горючих систем.....	17
2.2. Самозаймання горючих систем	18
2.3. Примусове займання горючих систем	19
РОЗДІЛ 3. РОЗВИТОК ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ	19
3.1. Горіння парогазових сумішей.....	19
3.2. Випаровування та горіння рідин.....	21
3.3. Горіння твердих речовин.....	24
3.4. Горіння пилоповітряних сумішей.....	25
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ПОЖЕЖО- ТА ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ.....	25
РОЗДІЛ 5. ПОЖЕЖА ТА ЇЇ РОЗВИТОК.....	25
РОЗДІЛ 6. МЕХАНІЗМИ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ.....	26
РОЗДІЛ 7. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ	26
ДОДАТОК 1. Таблиці і номограми, необхідні для розв'язування задач і вправ.....	35
ДОДАТОК 2. Приклад завдань для виконання контрольних робіт.....	48
ЛІТЕРАТУРА.....	61

ВСТУП

Освітній процес – це інтелектуальна, творча діяльність у сфері вищої освіти і науки, що провадиться через систему науково-методичних і педагогічних заходів та спрямована на передачу, засвоєння, примноження і використання знань, умінь та інших компетентностей у осіб, які навчаються, а також на формування гармонійно розвиненої особистості.

Метою освітнього процесу є підготовка компетентних, висококваліфікованих і конкурентоздатних на національному та міжнародному ринку праці фахівців для сфери цивільного захисту та інших галузей і видів економічної діяльності.

Освітній процес організовується з урахуванням наявних науково-педагогічного потенціалу, початково-методичної, наукової і матеріально-технічної бази із використанням можливостей сучасних інноваційних технологій.

Освітній процес здійснюється у таких формах: навчальні заняття; самостійна робота; практична підготовка; контрольні заходи.

Самостійна робота є однією з основних форм організації освітнього процесу, який здійснюється здобувачем з метою оволодіння навчальним матеріалом в час, вільний від обов'язкових навчальних занять. Самостійна робота передбачає вивчення навчального матеріалу, який викладається під час аудиторних занять та міститься у рекомендованій літературі. Результати самостійної роботи спеціально не оцінюються, але виявляються під час діагностики знань з навчальної дисципліни. Навчальний матеріал навчальної дисципліни, передбачений робочим навчальним планом для засвоєння здобувачем в процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль поряд з навчальним матеріалом.

Контрольна робота є обов'язковою формою контролю навчальної (зокрема самостійної) роботи здобувача та відображає ступінь освоєння матеріалу за програмами конкретних навчальних дисциплін, якість освітнього процесу.

Цілі проведення контрольної роботи: перевірка, оцінка та аналіз знань здобувачів; отримання інформації про характер їх пізнавальної діяльності, рівень самостійності й активності, про ефективність використання форм і методів навчальної діяльності.

У загальній системі організації самостійної роботи студентів відділення навчання особливе місце посідає контрольна робота з навчальної дисципліни. Її метою є не лише перевірка рівня засвоєння навчального матеріалу, але й, що більш важливе, закріплення отриманих теоретичних знань і набутих практичних навичок.

Дана контрольна робота є одним із етапів вивчення навчальної дисципліни «Теорія горіння та вибуху».

ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ З ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Увага! Роботи, виконані без урахування вимог загальних зауважень, не зараховуються і повертаються без перевірки!

Завдання на контрольну роботу складається із 100 варіантів. Дві останні цифри шифру залікової книжки студента відділення заочного навчання визначають варіант завдання на контрольну роботу.

Науково-педагогічний працівник може змінити варіант контрольної роботи з врахуванням специфіки роботи студента відділення заочного навчання.

Робота повинна бути виконана розбірливо, грамотно й охайно оформлена. На листах формату А4 необхідно залишати поля: ліве – 2,5 см, праве, верхнє, нижнє – 2,0 см. Формулювання запитань й умов задач писати обов'язково. Графіки, малюнки, ескізи рекомендовано виконувати кольоровими олівцями (ручками) за допомогою креслярських інструментів або за допомогою спеціальних комп'ютерних програм, при цьому необхідно дотримуватись масштабу.

У кінці роботи необхідно вказати літературу і нормативно-правові документи, які використовувались в ході виконання роботи.

Якщо виникають труднощі під час самостійного вивчення теоретичних питань або розв'язання задач, студент може звернутися за консультацією до практичних працівників органів і

підрозділів ОРС ЦЗ ДСНС України або науково-педагогічних працівників Інституту.

Оцінюється робота з урахуванням глибини викладення матеріалу, самостійності виконання, вміння пов'язувати теоретичні питання з практичною діяльністю органів і підрозділів ОРС ЦЗ ДСНС України.

Виконана робота повинна бути своєчасно відправлена на перевірку до навчального закладу. Робота, виконана не за своїм варіантом або є результатом списування з підручника чи іншого джерела, до заліку не допускається. Така робота виконується повторно із урахуванням зауважень рецензента.

Кожен варіант складається з двох теоретичних питань (верхні два числа клітинки таблиці завдань), одної розрахункової задачі (друга строчка цієї клітинки) і розрахункової задачі з загальною умовою № 58 (нижня строчка клітинки). Перед виконанням роботи правильність вибору свого варіанту рекомендується перевірити, консультуючись з викладачем дисципліни. Приклад завдань для виконання контрольних робіт наведено у додатку 2.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

1.1 . Основні поняття дисципліни «Теорія горіння та вибуху»

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 1–6 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 12–19. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

При розв'язанні задач із визначення маси, або об'єму певної кількості речовини треба пам'ятати, що маса 1 кг-молю складної речовини дорівнює простій сумі мас кг-молів атомів, які входять до складу цієї речовини.

Приклад 1. Маса 1 кг-молю пропанолу (C_3H_7OH) складається з мас 3 кг-молів атому карбону (12×3), мас 8 кг-молів атому гідрогену (1×8) і маси одного кг-молю атому кисню (1×16), тобто дорівнює $36 + 8 + 16 = 60$ кг.

При розв'язанні задач із визначення об'єму газоподібних речовин треба користуватися висновком із закону Авогадро, пам'ятаючи, що за нормальних умов 1 кг-моль будь-якого газу займає об'єм $22,4 \text{ м}^3$ і об'єм газу збільшується пропорційно збільшенню температури (користуватися треба шкалою Кельвіна) та пропорційно зменшенню тиску (можна користуватися будь-якою із поширених одиниць виміру тиску).

Приклад 2. 88 кг пропану (C_3H_8) – це маса 2 кг-молів цього газу і за нормальних умов займають об'єм $22,4 \times 2 = 44,8 \text{ м}^3$. При температурі 273°C (546 K , вдвічі більшій за нормальну) і тиску в 3040 мм рт ст. (вчетверо більшому за нормальний) 88 кг пропану займуть об'єм в $44,8 \times 2 : 4 = 22,4 \text{ м}^3$.

Приклад 3. Маса 1 кг-молю молекули пропану дорівнює 44 кг. Ця кількість пропану за нормальних умов займала б об'єм $22,4 \text{ м}^3$. Отже, питома густина газоподібного пропану за нормальних умов складає $44 : 22,4 = 1,96 \text{ г/м}^3$.

При розрахунках поелементного складу речовини необхідно знати масу певної кількості цієї речовини і масу загальної кількості кожного з атомів у цій речовині.

Приклад 4. Молекулярна маса пропанолу складається (див. приклад 1) з маси 3 атомів карбону (36 атомних одиниць маси), 8 атомів гідрогену (8 атомних одиниць маси) та маси одного атому кисню (16 атомних одиниць маси) і налічує 60 атомних одиниць маси. Отже в молекулі пропанолу: $36 \times 100 : 60 = 60\%$ карбону, $8 \times 100 : 60 = 13,3\%$ гідрогену і $16 \times 100 : 60 = 26,7\%$ кисню.

Ще легшим є зворотне завдання, розрахунок кількості кожного з атомів у певній кількості речовини, чи матеріалу із заданим поелементним складом.

Приклад 5. У 10 кг сухої деревини, елементний аналіз якої дає 49 % карбону, 6 % гідрогену і 45 % кисню, міститься $49 \times 10 : 100 = 4,9$ кг вуглецю, $6 \times 10 : 100 = 0,6$ кг водню і $45 \times 10 : 100 = 4,5$ кг кисню.

1.2. Загальні відомості про процес горіння

Якщо не вимагати точних визначень, то про горіння знає кожна людина. І чим більше розвинена цивілізація, тим більше і тим різноманітніше застосування процесів горіння. Від перших вогнищ, які захищали від хижаків і холоду і допомагали розширити продовольчу базу, до ТЕЦ, двигунів внутрішнього згоряння і космічних кораблів.

Але, на жаль, як це часто буває, при необережному поводженні найліпший друг може обернутися найлютішим ворогом. Разом із вогнем – добрим помічником – існує інший вогонь, вогонь-пожежа, який призводить до загибелі людей, завдає болю і матеріальних втрат.

З таким вогнем, вогнем-ворогом, треба боротися. На передовій лінії цієї боротьби – спеціалісти з пожежної безпеки. Спеціалісти, які повинні добре знати свого ворога: його звички, його сильні і слабкі сторони. Отже, саме набуття таких знань, вивчення такого явища, як пожежа, вивчення процесу горіння, що

лежить в основі пожежі, і становлять зміст курсу “Основи теорії розвитку і припинення горіння”.

Основні визначення і терміни наводяться згідно з державним стандартом України, який називається “Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Терміни та визначення” (Київ, 2003 рік).

Відтак, що таке пожежа і що таке горіння?

Пожежею називається неконтрольоване горіння, що відбувається зовні спеціального осередку (пристрою) та призводить до матеріальних збитків.

Таким чином, пожежа – це насамперед горіння.

А що таке горіння?

Горіння – це екзотермічна реакція окиснення речовини, яка супроводжується виникненням полум’я і свіченням та (або) виділенням диму.

Складовими процесу горіння є горючий матеріал, окисник і джерело запалювання. Звичайно ці складові представляють у схемі класичного трикутника.

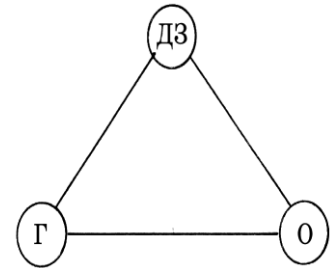


Рис. 1.1. Класичний трикутник пожежі

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 7–9 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 20–35. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

При розрахунках горючості за коефіцієнтом Елея (задача 9 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) необхідно пам’ятати, що критерієм горючості є значення $K=1$, а до формули Елея входять кількості кожного із елементів у хімічній формулі даної речовини, помножені на відповідний коефіцієнт, при цьому на елементи, відсутні у даній речовині, можна не звертати уваги, тому, що множення відповідного коефіцієнту на нуль все одно перетворює цю складову у нуль.

Приклад 6. Пропанол (C_3H_7OH) є безперечно речовиною горючою, т. як $K=4x_3+1x_8-2x_1=18$ (S, Cl, F, Br у хімічній формулі даної речовини відсутні).

Колір світіння полум'я при горінні речовини і матеріалу залежить, перш за все, від відносного вмісту у ній карбону та кисню. Отже необхідно розрахувати поелементний склад речовини (див. приклад 4) і порівняти його з відповідною табличкою (наприклад, [1, стор. 33]).

1.3. Матеріальний баланс процесу горіння

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 10–13 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 36–52. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

Розв'язуючи конкретні завдання, необхідно пам'ятати, що індекс – це цифра, яка ставиться внизу справа біля символу кожного атому, і вказує кількість атомів даного елемента в наведеній хімічній формулі; стехіометричний коефіцієнт – це цифра, яка ставиться перед хімічною формулою сполуки, і яка вказує кількість молекул даної сполуки, що приймає участь в хімічній реакції. Якщо індекс біля символу, або коефіцієнт перед хімічною формулою сполуки не поставлені, це означає, що в молекулі один атом даного елемента, або в процесі приймає участь одна молекула даної речовини.

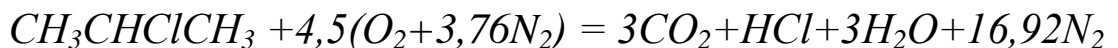
Приклад 7. В молекулі пропанолу (C_3H_8O) міститься 3 атоми карбону, 8 атомів гідрогену і один атом кисню.

Приклад 8. В хімічну реакцію $2CH_3OH + 3O_2 = 2CO_2 + 4H_2O$ вступають 2 молекули метанолу і 3 молекули кисню, в результаті реакції утворюються 2 молекули карбон діоксиду і 4 молекули води.

Речовини, хімічні формули яких написано зліва від знаків = або \rightarrow , називаються учасниками прямої реакції (в прикладі 8 - метанол і кисень), а речовини, формули яких написано справа від знаків = або \rightarrow , називаються продуктами реакції (в прикладі 8 - карбон діоксид і вода)

При складанні рівнянь хімічних реакцій горіння речовин у повітрі теорія горіння та вибуху (ТГтаВ) передбачає деякі відмінності від складання рівнянь інших хімічних реакцій. В ТГтаВ рівняння пишуться для однієї молекули (одного молу) горючої речовини, отже, перед хімічною формулою горючої речовини не може бути ніякого коефіцієнту. Крім того, ТГтаВ приймає, що повітря складається по об'єму з 79 % азоту і з 21 % кисню (співвідношення 3,76:1), отже, в рівняннях хімічної реакції горіння речовин у повітрі з кожною молекулою кисню враховують 3,76 молекули азоту. При цьому, перед дужками, які відображають повітря, може бути як ціле значення стехіометричного коефіцієнту (його звичайно позначають грецькою літерою β), так і дробове. Алгоритм написання таких рівнянь розписаний у підручниках, наприклад [1, стор.37)].

Приклад 9. Рівняння хімічної реакції горіння у повітрі 2-хлорпропану:



Розрахунок об'єму повітря, що необхідне для повного спалювання певної кількості індивідуальної речовини (задачі 1 та 2 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), проводиться за формулою (див. наприклад, [1, стор.41]), яка враховує кількість речовини (m), кількість молів кисню та азоту, необхідну для повного спалювання 1 кг-молу даної речовини (β), молекулярну масу речовини (M), закон Авогадро, температуру (T) та тиск (P) повітря і коефіцієнт його надлишку (α).

Приклад 10. Для визначення кількості повітря, необхідної для повного спалювання 785 кг 2-хлорпропану при температурі 30⁰С (303 К), тиску 90 кПа і коефіцієнту надлишку повітря 1.4 спочатку пишемо рівняння реакції повного спалювання цієї речовини (див. приклад 9) і визначаємо β (4,5) та M (78,5). Пам'ятаючи, що за нормальних умов $T=273$ К, а $P=101,3$ кПа, підставляємо всі отримані цифрові значення у формулу визначення об'єму повітря:

$$V_{нов} = \frac{785 \cdot 4,76 \cdot 22,4 \cdot 4,5 \cdot 303 \cdot 101,3 \cdot 1,4}{78,5 \cdot 273 \cdot 90} = 8391,6 \text{ м}^3.$$

При розрахунку об'єму повітря, що необхідне для спалювання матеріалу з невідомою молекулярною масою (задача 3 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) користуватися треба формулою, яка враховує відсотковий склад такого матеріалу (наприклад, [1, стор.41], але необхідно пам'ятати, що в цьому випадку вираховується об'єм повітря, необхідний для спалювання 1 кг матеріалу при нормальних умовах і $\alpha=1$. Отже, отримане значення треба приводити до заданих умов.

Приклад 11. Для визначення об'єму повітря, необхідного для повного спалювання 200 кг торфу, в якому містилося 45% вуглецю, 5,5% водню, 38% кисню, 2% азоту, 2,5% сірки і 7% вологи при тиску 98 кПа і температурі 12⁰С, якщо горіння проходило з коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = 1,1$, спочатку знаходимо кількість повітря, необхідну для спалювання 1 кг цього матеріалу при нормальних умовах: $V_{нов}^0 = 0,269[45/3+5,5+(2,5-8)/8] = 4,32 \text{ м}^3$. Отримане значення приводимо до заданих умов:

$$V_{нов} = \frac{4,32 \cdot 285 \cdot 101,3 \cdot 1,1 \cdot 200}{273 \cdot 98} = 1026 \text{ м}^3.$$

У випадку суміші горючих речовин простіше всього розрахувати об'єм повітря, необхідний для спалювання кожної речовини окремо, а потім визначати суму.

Об'єм продуктів горіння в цілому і об'єм кожного з продуктів горіння (задачі 4–6 та 8 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) визначається за законом Авогадро і рівнянням хімічної реакції горіння. За останнім вираховується кількість молекул кожного з продуктів горіння, які утворюються при повному спалюванні однієї молекули горючої речовини.

Приклад 12. Для визначення об'єму продуктів горіння, які утворюються при повному спалюванні 785 кг 2-хлорпропану при температурі горіння 727°C (1000 K) і тиску 90 кПа спочатку пишемо рівняння хімічної реакції повного спалювання цієї речовини (див. приклад 9) і визначаємо молекулярну масу горючої речовини ($M=78,5$), кількість молекул кожного з продуктів згоряння і загальну суму молекул продуктів згоряння однієї молекули горючої речовини: $3\text{CO}_2+1\text{HCl}+3\text{H}_2\text{O}+16,92\text{N}_2 = 23,92$. Отже, при спалюванні 1 кг-молю даної речовини за нормальних умов утворюється $3 \times 22,4 = 67,2\text{ м}^3\text{ CO}_2$; $22,4\text{ м}^3\text{ HCl}$; $3 \times 22,4 = 67,2\text{ м}^3\text{ H}_2\text{O}$ і $16,92 \times 22,4 = 379,0\text{ м}^3\text{ N}_2$; або $23,923 \times 22,4 = 535,8\text{ м}^3$ усього газоподібних продуктів реакції. При спалюванні ж 785 кг речовини за умов горіння утворюється:

$$V_{n.z.} = \frac{535,8 \cdot 785 \cdot 1000 \cdot 101,3}{78,5 \cdot 273 \cdot 90} = 22091\text{ м}^3\text{ продуктів горіння.}$$

Склад продуктів горіння (задача 8 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) – це відсоток кожного з продуктів горіння у загальному їх об'ємі.

Приклад 13. У прикладі 12 відсоток CO_2 складає $67,2 \cdot 100/535,8 = 12,54\%$;

відсоток HCl – $22,4 \cdot 100/535,8 = 4,18\%$;

відсоток водяної пари $67,2 \cdot 100/535,8 = 12,54\%$

і відсоток азоту - $379 \cdot 100/535,8 = 70,74\%$.

У випадку не індивідуальної речовини, а матеріалу з невідомою хімічною формулою (задача 6 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) виходять з наперед розрахованих кількостей продуктів згоряння горючих елементів. Наприклад, за нормальних умов при повному згорянні в повітрі 1 кг вуглецю (карбону) виділяється $1,86\text{ м}^3$ карбон діоксиду, а з повітря в продукти горіння переходять 7 м^3 азоту (нітрогену) [1, стор.51]. Приклад розв'язання таких завдань детально розписаний у підручниках, наприклад [1, стор.51]. Необхідно лише пам'ятати, що при такому розрахунку визначається об'єм продуктів

згоряння 1 кг матеріалу за нормальних умов. Отже, для знаходження дійсного значення необхідно провести перерахунок, аналогічний тому, що описаний у прикладі 11.

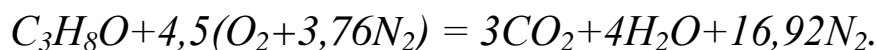
1.4. Теплота згоряння і її баланс

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 14–20 та 52 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 53–65. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

При визначення вищої і нижчої теплоти згоряння речовин найбільш поширеними є два методи – користування висновком з закону Геса, на основі відомих значень теплот утворення речовин і розрахунок за формулою Д. І. Менделєєва.

Користуючись табличними даними при розрахунках за першим методом (задача 10 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) необхідно зважати на те, що у більшості таблиць (наприклад, таблиці 2 даного посібника) наводиться нижча теплота утворення 1 молю (тобто певної кількості грамів) даної речовини. Алгоритм розв'язання завдань за цим методом детально описаний у підручниках (наприклад, [1, стор.56–57]). Якщо задано суміш речовин, необхідно окремо підрахувати кількість теплоти, яка виділяється при спалюванні кожної з них, а потім знайти загальну суму.

Приклад 14. Для визначення за законом Геса нижчої теплоти згоряння 200 кг пропанолу (пропілового спирту, C_3H_8O) спочатку пишемо рівняння хімічної реакції повного згоряння цього спирту:



З таблиці 2 (див. додаток) виписуємо значення теплоти утворення пропілового спирту, карбон діоксиду і води.

$$H_{умв}(C_3H_8O) = -307,19 \text{ кДж/моль};$$

$$H_{умв}(CO_2) = -393,78 \text{ кДж/моль};$$

$$H_{\text{утв}}(\text{H}_2\text{O}) = -241,99 \text{ кДж/моль.}$$

За законом Геса:

$$H_{\text{згор}} = 3(-393,78) + 4(-241,99) - (-307,19) = -2456,49 \text{ кДж/моль.}$$

$$M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = 60 \text{ атомних одиниць маси.}$$

Отже, при спалюванні 60 г пропанолу виділяється 2456,49 кДж тепла. При спалюванні ж 200 кг буде виділятися $2456,49 \cdot 200 / 60 = 8188,3$ кДж.

За формулою Д. І. Менделєєва (задачі № 11 та 12 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) розраховується кількість теплоти, яка виділяється при спалюванні 1 кг речовини, або матеріалу. Попередньо тут необхідно знати, або розрахувати відсотковий склад горючої речовини (матеріалу).

Приклад 15. Для визначення за формулою Д. І. Менделєєва нижчої теплоти згорання 200 кг етанолу (етилового спирту, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) спочатку знаходимо відсотковий вміст в цій речовині карбону, гідрогену і кисню: $M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 46$ атомних одиниць маси; карбону тут $12 \cdot 2 = 24$ атомні одиниці маси. Отже, $[\text{C}] = 24 \cdot 100 / 46 = 52,2 \%$. Аналогічно, $[\text{H}] = 6 \cdot 100 / 46 = 13,0 \%$ і $[\text{O}] = 16 \cdot 100 / 46 = 34,8 \%$.

За формулою Д. І. Менделєєва:

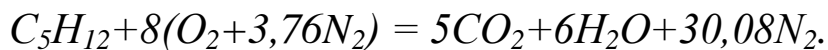
$$Q_{\text{нижч.}} = 339,4 \cdot 52,2 + 1257 \cdot 13 - 108,9 \cdot 34,8 - 25 \cdot 9 \cdot 13 = 27343 \text{ кДж/кг.}$$

При спалюванні 200 кг цього спирту виділяється $27343 \cdot 200 = 5468600$ кДж тепла.

При визначенні калориметричної температури згорання речовини або матеріалу (задачі 13 та 14 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) необхідно знайти об'єм і склад продуктів згорання певної кількості цієї речовини або матеріалу і кількість нижчої теплоти ($Q_{\text{н}}$), яка виділяється при згоранні цієї ж кількості речовини або матеріалу. Останнє, по суті є сумарним тепловмістом продуктів згорання даної кількості речовини або матеріалу. Наступний крок – визначення тепловмісту 1 м^3 продуктів згорання, тобто частки від ділення теплоти згорання на об'єм продуктів згорання. За отриманим результатом, порівнюючи його з величинами, наведеними у таблиці 4 додатку, обираємо температуру, при якій тепловміст 1 м^3 азоту має

значення, на 300–400 кДж/м³ менше, ніж тепловміст 1 м³ суміші наших продуктів. Знаючи вміст кожного з газів в нашій суміші і значення тепловмісту 1 м³ кожного газу при цій температурі (з таблиці 2), розраховуємо сумарний тепловміст (q_t) наших продуктів згоряння при цій температурі. Так як він не співпадає із розрахованим значенням Q_H (більший або менший за нього) повторюємо розрахунок при температурі, більшій або меншій за обрану спочатку. Маючи два значення тепловмісту суміші продуктів згоряння, одне з яких більше за Q_H , а друге менше за нього, дійсне значення температури згоряння даної речовини або матеріалу можна розрахувати методами інтерполяції.

Приклад 16. Для визначення температури горіння пентану (C₅H₁₂) спочатку пишемо рівняння хімічної реакції повного згоряння цієї речовини:



Визначаємо молекулярну масу горючої речовини ($M=72$), кількість молекул кожного з продуктів згоряння і загальну суму молекул продуктів згоряння однієї молекули горючої речовини: $5CO_2 + 6H_2O + 30,08N_2 = 41,08$. Отже, при спалюванні 1 кг-молю даної речовини за нормальних умов утворюється $5 \times 22,4 = 114,2$ м³ CO₂, $6 \times 22,4 = 134,4$ м³ парів H₂O і $41,08 \times 22,4 = 920,2$ м³ N₂; разом 1168,8 м³ газоподібних продуктів реакції. Знаходимо відсотковий вміст в пентані карбону і гідрогену: $M(C_5H_{12}) = 72$ атомні одиниці маси; карбону тут $12 \times 5 = 60$ атомних одиниць маси. Отже, $[C] = 60 \cdot 100 / 72 = 83,3$ %. Аналогічно, $[H] = 12 \cdot 100 / 72 = 16,7$ %. За формулою Д. І. Менделєєва:

$$Q_{\text{нижч.}} = 339,4 \cdot 83,3 + 1257 \cdot 12 - 25 \cdot 9 \cdot 12 = 40656 \text{ кДж/кг}$$

При спалюванні 72 кг (1 кг-молю) пентану виділяється ($Q_{\text{заг.}} \text{дійсне} = 40656 \cdot 72 = 2927233$ кДж тепла. Таким чином, середній тепловміст продуктів горіння складає

$$q_{\text{сер.}} = 2927233 : 1168,8 = 2504,4 \text{ кДж/м}^3.$$

1 м³ азоту такий тепловміст має орієнтовно (див. табл.4 додатку) при температурі 1700 °С. Перший розрахунок проводимо при температурі 1500 °С. При цій температурі тепловміст 1 м³ азоту дорівнює 2176,7 кДж, карбон діоксиду 3505,7 кДж, парів води 2781,3 кДж. Враховуючи об'єм кожного з

продуктів горіння 1 кг-молю пентану, знаходимо загальний тепловміст цих продуктів:

$$Q_{\text{заг}}(1500) = 920,2 \times 2176,7 + 114,2 \times 3505,7 + 134,4 \times 2781,3 = 2777156,9 \text{ кДж.}$$

Так як, отримане значення менше за $(Q_{\text{заг}})_{\text{дійсне}}$, наступний розрахунок проводимо при температурі 1600°C :

$$Q_{\text{заг}}(1600) = 920,2 \times 2335,5 + 114,2 \times 3771,4 + 134,4 \times 3004,2 = 2983585,5 \text{ кДж.}$$

З отриманих значень випливає, що на різницю в $(2983585,5 - 2777156,9)$ кДж припадає $1600 - 1500 = 100^\circ\text{C}$. В той же час, різниця між $(Q_{\text{заг}})_{\text{дійсне}}$ і $Q_{\text{заг}}(1500)$ дорівнює $(2927233 - 2777156,9)$. Отже, дійсна температура горіння пентану за формулою інтерполяції складає:

$$T_{\text{гор.}} = 1500 + 100(2927233 - 2777156,9) / (2983585,5 - 2777156,9) = 1572,7^\circ\text{C, або } 1845,7 \text{ К.}$$

На відміну від спалювання при сталому тиску, вибух в теорії горіння (задачі 18 та 19 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) розглядається як спалювання при сталому об'ємі, коли продукти горіння не мають змоги поширюватися і, отже, виконувати роботу. Тому, при вибуху виділяється додаткова кількість тепла, яка розраховується за формулою $\Delta H_{\text{вибуху}} = R \cdot T \cdot \Delta n$, де R – універсальна газова стала, T – температура вибуху, Δn – різниця молів газоподібних продуктів згорання і вихідних газоподібних речовин при спалюванні одного молю горючої речовини. Зрозуміло, що температура вибуху більша за температуру горіння. Але ця різниця здебільшого не перевищує 10°C і при виконанні контрольної роботи можна не визначати додаткову кількість тепла і температуру вибуху. Саме значенням температури горіння, а не температури вибуху можна користуватися для визначення тиску вибуху. Останній

визначається за формулою $P_{\text{виб}} = \frac{P_0 \cdot T_{\text{виб}} \cdot \sum n_{\text{п.г.}}}{T_0 \cdot \sum n_{\text{р.р.}}}$,

де $\sum n_{\text{п.г.}}$ – сума молів продуктів згорання;

$\sum n_{\text{р.р.}}$ – сума молів реагуючих речовин.

Приклад 17. Для визначення максимального тиску вибуху суміші пентану з повітрям (див. приклад 16) спочатку розраховуємо температуру горіння цієї речовини (див. приклад 16) і підраховуємо суму молів продуктів повного згорання однієї молекули горючої речовини: ($5\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 30,08\text{N}_2 = 41,08$) та суму молів реагуючих при цьому речовин ($1\text{C}_5\text{H}_{12} + 8\text{O}_2 + 8 \cdot 3,76\text{N}_2 = 39,08$). Далі за наведеною вище формулою:

$$P_{\text{вib}} = \frac{101,3 \cdot 1845,7 \cdot 41,08}{273 \cdot 39,08} = 719,9 \text{ кПа.}$$

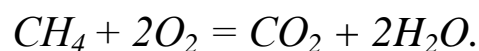
РОЗДІЛ 2. ВИНИКНЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ

2.1. Самоспалахування горючих систем

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 20–28 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 66–86. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

При визначенні зміни швидкості горіння речовини у повітрі зі зміною умов реакції (задачі 15 та 16 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) треба, користуючись законом діючих мас, порівняти швидкість реакції при початкових та змінених умовах. При цьому треба пам'ятати, що максимальною швидкість реакції вважається при стехіометричних концентраціях реагуючих речовин, а концентрація газоподібної речовини у повітрі пропорційна тиску у даній системі.

Приклад 18. Для визначення зміни швидкості горіння метану у кисню при збільшенні удвічі тиску необхідно спочатку написати рівняння хімічної реакції горіння метану у кисні



Із закону діючих мас, приймаючи початкові концентрації реагуючих речовин за одиницю, швидкість реакції при початкових умовах дорівнюватиме: $v_1 = k(1 \cdot 1^2) = 1k$. Аналогічно, при збільшенні тиску (і пропорційно концентрацій реагуючих

речовин) удвічі: $v_2 = k(2x^2) = 8k$. Далі, $v_2/v_1 = 8k/1k = 8$. Отже, швидкість горіння метану при цьому збільшиться у 8 разів.

Температуру самоспалахування речовин (задача 29 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) найчастіше визначають експериментальним шляхом. Але, при необхідності, її можна орієнтовно визначити розрахунковим шляхом, користуючись апроксимаційним методом. Методика такого визначення наведена у підручниках, наприклад [1], на сторінках 83–85.

З температурою самоспалахування пов'язана допустима температура нагріву технологічної поверхні (задача 17 з розділу 5 завдання на контрольну роботу). Методика її визначення теж наведена у підручниках, наприклад [1], стор. 85.

2.2. Самозаймання горючих систем

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 29–36 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 87–103. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами. В цьому ж підручнику наведено методики розрахунку температури, при якій виникає самонагрівання і час розігріву до температури самоспалахування (стор. 88-89), а також розрахунку теоретичного йодного числа (стор. 93).

2.3. Примусове займання горючих систем

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 37–44 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 104–121. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

Мінімальну енергію запалювання суміші горючого газу з повітрям звичайно визначають експериментальним шляхом, але при необхідності її можна розрахувати за апроксимаційними формулами, виходячи із значень нормальної швидкості

поширення полум'я, або критичного гасячого діаметру [1, стор. 118-119].

РОЗДІЛ 3. РОЗВИТОК ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ

3.1. Горіння парогазових сумішей

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 45–51 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 121–145. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

При визначенні видимої або масової швидкості поширення полум'я за значенням нормальної швидкості поширення полум'я та при вирішенні зворотних завдань (задача 37 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), треба користуватися законом косинусу і значенням питомої густини горючої суміші [1, стор. 125]. Критичний гасячий діаметр і безпечний діаметр при горінні суміші, розраховуються по відомих значеннях нормальної швидкості поширення полум'я по цій суміші, теплоємності та теплопровідності суміші і її початкової температури [1, стор. 130].

Визначення концентраційних меж поширення полум'я при стехіометричних концентраціях реагуючих речовин (задачі 20, 21, 26, 28, 31–36 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) найчастіше проводять експериментальним шляхом, але при необхідності це може бути зроблено і оперативним розрахунком. При цьому спочатку необхідно написати рівняння хімічної реакції горіння одного молю даної речовини у кисні (можна без урахування азоту повітря), знайти значення стехіометричного коефіцієнту при молекулі кисню (β) і застосувати відповідну апроксимаційну формулу [1, стор. 133]. Висновок про небезпечність даної суміші можна зробити, порівнюючи дійсну концентрацію горючої речовини у повітрі з нижньою та верхньою концентраційними межами поширення полум'я для даної горючої речовини [1, стор. 133].

Приклад 19. Для визначення концентраційних меж поширення полум'я по суміші пропану з повітрям, спочатку пишемо рівняння хімічної реакції горіння пропану у кисні



$$НКМПП = 100 : (8,684 \times 5 + 4,679) = 2,08 \% \text{ (об'ємних)},$$

$$ВКМПП = 100 : (1,550 \times 5 + 6,554) = 7,00 \% \text{ (об'ємних)}.$$

Якщо задано суміш горючих речовин, треба визначати концентраційні межі поширення полум'я окремо для кожної з них, потім визначати мольну частку кожної з них у суміші і розраховувати за принципом Ле-Шательє суму спільного значення, в яке кожна з речовин вносить частку концентраційної межі, пропорційну її мольній частці. Мольна частка визначається, як відношення кількості молів кожної речовини до загальної кількості молів даної суміші [1, стор. 137-138].

Приклад 20. Для визначення концентраційних меж поширення полум'я по суміші пропану, бутану і повітря, в якій 40 % (масових) пропану і 60 % (масових) бутану, визначаємо (див. приклад 19) НКМПП і ВКМПП для пропану. Потім робимо те саме для бутану: $C_4H_{10} + 6,5O_2 = 4CO_2 + 5H_2O. \beta=6,5.$

$$НКМПП \text{ (бут)} = 100 : (8,684 \times 6,5 + 4,679) = 1,64 \% \text{ (об'ємних)},$$

$$ВКМПП \text{ (бут)} = 100 : (1,550 \times 6,5 + 6,554) = 6,01 \% \text{ (об'ємних)}.$$

В 100 масових частках (наприклад 100 г) суміші знаходиться 40 г пропану і 60 г бутану. Мольна маса пропану складає $3 \times 12 + 8 = 44$ г, а мольна маса бутану складає $4 \times 12 + 10 = 58$. В 40 г пропану міститься $40/44 = 0,91$ молів цієї речовини, а в 60 г бутану - $60/58 = 1,03$ молів бутану. Сума молів складає 1,94. Отже, в загальній суміші мольна частка пропану складає $0,91/1,94 = 0,47$, а мольна частка бутану - $1,03/1,94 = 0,53$. В заданій суміші:

$$НКМПП = \frac{100}{\frac{0,47 \cdot 100}{2,08} + \frac{0,53 \cdot 100}{1,64}} = 1,82 \% \text{ (об'ємних)},$$

$$ВКМПП = \frac{100}{\frac{0,47 \cdot 100}{7,00} + \frac{0,53 \cdot 100}{6,01}} = 6,44 \% \text{ (об'ємних)}.$$

Гранично допустима вибухонебезпечна концентрація горючої речовини у повітрі (задача 26 з розділу 5 завдання на

контрольну роботу) розраховується за значенням нижньої концентраційної межі поширення полум'я [1, стор. 153].
 $ГДВК = K_6 \cdot НКМПП$.

3.2. Випаровування та горіння рідин

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 53–63 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 146–168. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

Допустима температура нагріву технологічної поверхні (задача 17 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), як вже вказувалося вище (стор. 15), розраховується за значенням температури самоспалахування [1, стор. 85].

Горять власне не рідини, а їх пари над поверхнею рідини. Тому важливо знати умови перетворення рідини в пар і, зокрема тиск насиченої пари рідини при різних температурах [1, стор. 146-153]. Тиск насиченої пари індивідуальної рідини розрахунковим шляхом визначається за спеціальною номограмою (задача 23 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), наведеною у додатку і в підручнику [1, стор. 147-149], за рівнянням Антуана (задача 22 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) [1, стор. 150-151], за рівнянням Клаузіуса-Клапейрона [1, стор. 148], або (найточніший метод) за допомогою таблиць термодинамічних властивостей (задача 24 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), складених для всіх практично важливих рідин і наведених у додатку 2. Достатньо точне значення при цьому знаходиться методом інтерполяції [1, стор. 150].

Приклад 21. Для визначення тиску насиченої пари октану при температурі 80°C знаходимо цей тиск (P_m) при температурі, найближчій до заданої, але меншій за неї ($t_m = 65,7^{\circ}\text{C}$); $P_m = 100$ мм рт ст. Потім – при температурі, найближчій до заданої, але більшій за неї: ($t_6 = 104^{\circ}\text{C}$); $P_6 = 400$ мм рт ст. Із знайдених значень впливає, що на різницю в $(400 - 100)$ мм рт ст. припадає $104 - 65,7 = 38,3^{\circ}\text{C}$. В той же час, різниця між потрібною температурою і меншим із знайдених

значень складає $80 - 65,7 = 14,3$ °C. Отже, дійсний тиск насиченої пари октану при температурі 80 °C за формулою інтерполяції дорівнює:

$$P_{\text{дійсн.}} = 100 + 14,3(400 - 100)/38,3 = 212 \text{ мм рт ст.}$$

Аналогічним чином розв'язується зворотна задача – знаходження температури, при якій досягається даний тиск насиченої пари.

Якщо задано суміш рідин (задачі 25 та 27 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), треба враховувати їх взаємну розчинність. Для рідин, нерозчинних одна в одній, загальний тиск насичених парів дорівнює простій сумі тисків насичених парів індивідуальних рідин при цій температурі. Тобто, за прикладом 21 треба знайти тиск насичених парів кожної рідини, а потім визначити їх суму. Рідини, здатні до взаємної розчинності вносять в загальний тиск насичених парів частку, пропорційну їх мольній частці в суміші, помноженій на тиск насиченої пари [1, стор. 151]. Отже, тут попередньо треба шукати мольну частку кожної рідини в суміші (див. приклад 20).

Тиск насиченої пари рідини в повітрі пропорційний концентрації цих парів в суміші парів рідини з повітрям. Тиск в 760 мм рт ст. означає, що над поверхнею рідини зовсім немає повітря, а є тільки пари. Отже концентрацію парів рідини у повітрі (в об'ємних відсотках) можна визначити, помноживши тиск її насиченої пари на 100 і поділивши його на загальний тиск (при застосуванні в якості одиниць виміру мм рт ст. - на 760) [1, стор. 152]. Зворотна задача – знаходження тиску насичених парів при заданій концентрації цих парів – розв'язується при множенні концентрації (в об'ємних відсотках) на загальний тиск і діленні на 100 .

Температура, при якій на поверхнею рідини досягається концентрація її парів, яка дорівнює нижній концентраційній межі поширення полум'я даної рідини є для неї нижньою температурною межею поширення полум'я (НТМПП). Аналогічний зміст має верхня межа (ВТМПП). Для того, щоб знайти НТМПП і ВТМПП (задачі 28, 35, 36 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), спочатку необхідно визначити для даної рідини НКМПП та ВКМПП (див. приклад 19). Потім, по цих значеннях знайти тиск насичених парів на нижній та верхній концентраційних межах. І далі, по

значеннях тиску за допомогою таблиці термодинамічних властивостей, температури, при яких такий тиск реалізується.

Приклад 22. Для визначення НТМПП для етилового спирту (етанолу) перш за все пишемо рівняння горіння цієї рідини (можна не в повітрі, а в кисні): $C_2H_6O + 3O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$. $\beta = 3$. Знаходимо НКМПП (див. приклад 19):

$$НКМПП = 100 : (8,684 \times 3 + 4,679) = 3,25 \% \text{ (об'ємних).}$$

При цій концентрації тиск насиченої пари етанолу дорівнюватиме $P_{нас} = 3,25 \times 760 : 100 = 24,7$ мм рт ст. З таблиці термодинамічних властивостей (додаток 2) найближчі для цього значення (див. приклад 21):

$$P_m = 10 \text{ мм рт ст. при температурі } t_m = -2,3^\circ C \text{ і}$$

$$P_6 = 40 \text{ мм рт ст. при температурі } t_6 = 19^\circ C.$$

На різницю в (40 - 10) мм рт ст. припадає $19 + 2,3 = 21,3^\circ C$. Різниця між потрібним тиском і меншим із знайдених значень складає $24,7 - 10 = 14,7$ мм рт ст. Температура, при якій цей тиск реалізується, і є НТМПП:

$$НТМПП = -2,3 + 14,7 \times 21,3 : (40 - 10) = 8,1^\circ C.$$

Гранично допустима вибухонебезпечна концентрація для парів рідин у повітрі (задача 26 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), знаходиться так само, як і для газоподібних речовин (див. стор. 17).

Для визначення ступеню небезпечності парів даної рідини або суміші рідин при певній температурі (задачі 31 та 32 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) виконуються дії, практично аналогічні описаним в прикладах 21 та 22. З таблиці термодинамічних властивостей інтерполяцією визначають для даної температури тиск насиченої пари рідини, або частку тиску насиченої пари даної рідини у суміші рідин. Помноживши цей тиск на 100 і поділивши на 760, знаходять дійсну концентрацію (в об'ємних відсотках) парів кожної з рідин у суміші їх з повітрям. З рівняння хімічної реакції горіння для кожної з рідин знаходять стехіометричний коефіцієнт β і НКМПП та ВКМПП для кожної з рідин. Порівнюючи отримані значення дійсної концентрації, НКМПП та ВКМПП [1, стор. 132-133], можна зробити первинний висновок про ступінь пожежонебезпечності. Якщо дійсне значення концентрації парів виявляється нижчим за НКМПП,

треба врахувати ще й коефіцієнт безпечності, тобто визначити ГДВК.

Важливим показником пожежонебезпечності рідини є її температура спалаху. Розрахунковим шляхом її визначають (задача 30 з розділу 5 завдання на контрольну роботу), в основному користуючись значенням НТМПП (стор. 18 і приклад 22), або формулою Елея. В підручнику [1, стор. 154-158] наведено хід такого розрахунку як для індивідуальних рідин так і для їх сумішей.

Важливими характеристиками інтенсивності вигорання рідини є лінійна та масова швидкість вигорання. Розрахувати будь-яку з них (задача 38 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) можна, користуючись значенням іншої [1, стор. 160] .

3.3. Горіння твердих речовин

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 64–67 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 168–179. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

На відміну від вигорання рідин, при вигоранні твердих речовин, крім лінійної та масової швидкості вигорання, розраховують ще приведену масову швидкість вигорання. Розрахунок будь-якої з цих величин (задача 39 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) зрозумілий із визначення цих понять [1, стор. 177-178] .

3.4. Горіння пилоповітряних сумішей

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 68–72 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 180–187. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

Горіння аерозолі в теорії розглядається як аналог горіння газів. Але, на відміну від останнього, при горінні аерозолі велике значення має передача тепла випромінюванням і, пов'язана з цим, ступінь подрібненості матеріалу. Ступінь

подрібненості треба враховувати при визначенні концентраційних меж поширення полум'я по пилоповітряних сумішах (задачі 33 та 34 з розділу 5 завдання на контрольну роботу). Відповідні формули для розрахунку наведені у підручниках [1, стор. 185-187].

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ПОЖЕЖО- ТА ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 73–87 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 189–300. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

Практичні завдання (40-49 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) вимагають знання основних класів горючих органічних речовин і можуть бути виконані після засвоєння принаймні питань будови та номенклатури кожного з класів.

РОЗДІЛ 5. ПОЖЕЖА ТА ЇЇ РОЗВИТОК

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 88–98 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 301–355. При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами. Ці питання стосуються класифікації пожеж [1, стор. 301-304], пожежного навантаження [1, стор. 305-308], основних параметрів, що характеризують розвиток пожежі [1, стор. 308-314], особливостей розвитку пожеж різного типу на відкритих просторах [1, стор. 314-329] та в огороженні [1, стор. 329-343], а також основ теплової теорії затухання [1, стор. 343-355].

Практичні завдання з цього розділу (задачі 50-57 з розділу 5 завдання на контрольну роботу) здебільшого виконуються за наведеними в підручниках (див. абзац, розташований вище) емпіричними та апроксимаційними формулами.

РОЗДІЛ 6. МЕХАНІЗМИ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ

Відповіді на теоретичні питання з цього розділу (питання 99–108 з розділу 4 завдання на контрольну роботу) треба шукати у підручниках, наприклад у підручнику [1], на сторінках 356–409.

При цьому матеріал підручника не слід переписувати дослівно. Необхідно засвоїти матеріал і дати відповідь своїми словами.

Практичні завдання з цього розділу вимагають логічного розуміння визначення відповідної величини і знання основ теорії горіння, розглянутих у попередніх розділах.

РОЗДІЛ 7. ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Варіант № а1

Питання 23. Явище каталізу. Позитивний і негативний, гомогенний і гетерогенний каталіз. Механізм дії каталізаторів.

Відповідь.

Каталізаторами називаються речовини, і далі, конспектуючи або обговорюючи своїми словами відомості про каталізатори з обов'язковою відповіддю на поставлені питання.

З нової сторінки.

Питання 69. Горіння аерогелю. Температура спалахування. Температура тління. Подвійний, потрійний і т. д. вибух при горінні аерогелю.

Відповідь.

Аерогелем називається пил, який знаходиться у стані осаду.....і далі, конспектуючи або обговорюючи своїми словами відомості про аерогель з обов'язковою відповіддю на поставлені питання.

З нової сторінки.

Розрахункова задача 100. Розрахувати кратність і газовміст піни, що утворилася з 5 м^3 розчину піноутворювача і 200 м^3 повітря.

Відповідь

Загальний об'єм піни складає $V_{\text{п}} = 200 + 5 = 205 \text{ м}^3$.

Кратність піни дорівнює $K_{\text{п}} = 205 : 5 = 41$.

Газовміст піни $\beta_{\text{п}} = 5 : 200 = 0,025$

З нової сторінки.

Розрахунково-теоретична задача 58.37.

Для пропілового спирту встановити по довідниках
-агрегатний стан, фізико-хімічні властивості і структурну формулу;

- токсичність речовини і продуктів її згорання;
- засоби, придатні для гасіння при горінні цієї речовини.

Розрахувати:

- коефіцієнт горючості;
- температуру спалаху;
- нижчу теплоту згорання;
- температуру горіння; температурні межі поширення полум'я;
- стехіометричну концентрацію;
- температурні межі поширення полум'я, висоту полум'я.

Відповідь.

Пропіловий спирт – **1-пропанол** при нормальних умовах являє собою рідину, легшу за воду і в воді розчинну. **Температура кипіння 97,8 °С**. По хімічних властивостях – це типовий представник органічних спиртів, при окисненні спочатку утворює альдегід, потім пропанову кислоту і далі карбон двооксид та воду. Структурна формула: **CH₃CH₂CH₂OH**. Пропіловий спирт – речовина малотоксична. При повному згоранні утворює карбон двооксид та воду. При невеликих концентраціях продукт згорання – карбон двооксид токсичності не спричиняє. Гасити горіння пропілового спирту можна водою, піною, вогнегасячими порошками.

Коефіцієнт горючості $K = 3 \times 4 + 8 - 2 = 18$.

Температура спалаху за формулою

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{кип}} - 18\sqrt{K} = 97,8 - 18\sqrt{18} = 20,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

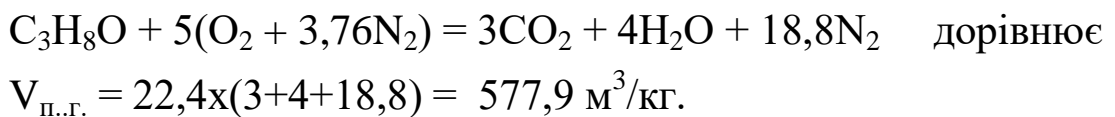
Нижчу теплоту згорання розраховуємо за методом Менделєєва.

Молекулярна маса $M = 3 \times 12 + 8 + 16 = 60$. Вміст в речовині карбону $36 \times 100 : 60 = 60,0 \%$, гідрогену $8 \times 100 : 60 = 13,3 \%$, кисню $16 \times 100 : 60 = 26,7 \%$.

За формулою Менделєєва:

$$Q_{\text{н}} = 339,4 \times 60,0 + 1257 \times 13,3 - 108,9 \times 26,7 - 25 \times 9 \times 13,3 = 31182,0 \text{ кДж/кг, або } 31182,0 \times 60 = 1870920,0 \text{ кДж/кг-моль.}$$

Об'єм продуктів повного згорання 1 кг-молю пропілового спирту при нормальних умовах з рівняння горіння



Тепловміст 1 м³ суміші продуктів горіння

$$1870920,0 : 577,9 = 3237,4 \text{ кДж/ м}^3.$$

З таблиці тепловмісту газів (табл. 4 додатку) приблизно такий тепловміст азот має при температурі 2200 °С. Враховуючи, що суміш газів такий тепловміст буде мати при меншій температурі, для першого розрахунку обираємо температуру в 2000 °С.

В такому випадку для продуктів згорання 1 кг-моля пропілового спирту загальний тепловміст складає:

$$Q_{2000} = 3 \times 22,4 \times 4847,8 + 4 \times 22,4 \times 3928,5 + 18,8 \times 22,4 \times 2979,9 = 1932611,3 \text{ кДж,}$$

що більше розрахованого вище дійсного $Q_{\text{н}}$. Для другого розрахунку обираємо температуру в 1900 °С:

$$Q_{1900} = 4 \times 22,4 \times 4579,7 + 5 \times 22,4 \times 3693,5 + 22,56 \times 22,4 \times 2818,2 = 1825493,8 \text{ кДж.}$$

За формулою інтерполяції дійсна температура горіння складає:

$$t_{\text{дйсн}} = 1900 + \frac{(2000 - 1900)(1870920,0 - 1825493,8)}{1932611,3 - 1825493,8} = 1942,4 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Для розрахунку концентраційних меж поширення полум'я користуємось значенням β з наведеного вище рівняння хімічної реакції горіння (5).

$$\text{НКМПП} = 100 : (8,684 \times 5 + 4,679) = 2,1 \text{ \%};$$

$$\text{ВКМПП} = 100 : (1,550 \times 5 + 0,560) = 12,0 \text{ \%}.$$

Враховуючи, що в 100 м^3 повітря знаходиться 21 м^3 кисню, а співвідношення пропілового спирту і кисню при **стехіометричній** концентрації складає, згідно рівняння хімічної реакції горіння, 1:5, до цих 100 м^3 повітря треба додати $21/5=4,2 \text{ м}^3$ парів пропілового спирту, тобто **стехіометрична** концентрація його в повітрі становитиме $4,2 \times 100 / 104,2 = 4,0 \text{ \%}$.

Для розрахунку **температурних меж поширення полум'я** спочатку знаходимо тиск насиченої пари пропілового спирту на нижній та верхній концентраційних межах:

$$\text{на нижній: } P = 760 \times 2,1 : 100 = 16,0 \text{ мм рт ст.};$$

$$\text{на верхній: } P = 760 \times 12,0 : 100 = 91,2 \text{ мм рт ст.}$$

З таблиці термодинамічних властивостей для пропілового спирту тиск насиченої пари складає:

$$10 \text{ мм рт ст} \quad \text{при температурі} \quad 14,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$40 \text{ мм рт ст} \quad \text{при температурі} \quad 36,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$100 \text{ мм рт ст} \quad \text{при температурі} \quad 52,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

За методикою інтерполяції:

$$\text{НТМПП} = 14,7 + (16,0 - 10) (36,4 - 14,7) : (40 - 10) = 19,0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{ВТМПП} = 36,4 + (91,2 - 40) (52,8 - 36,4) : (100 - 40) = 50,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Використана література

1. Єлагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М. Основи теорії розвитку і припинення горіння. - Черкаси: ЧПБ, 2001. - 448 с.
2. Петров А.А., Бальян Х.В., Трощенко А.Г. Органическая химия, Из-во "Высшая школа", М. - 1965. - 493 с.
3. Баратов А.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание. - М.: Химия, 1990. - книга 1. 496 с.

4. Баратов А.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание. – М.: Химия, 1990. – книга 2. 384 с.

5. Єлагін Г. І., Шкарабура М. Г., Тищенко О. М. Методичні вказівки для виконання контрольних робіт з дисциплін “Теорія розвитку і припинення горіння ” та “Теоретичні основи пожежовибухонебезпечності” слухачами заочної форми навчання.: – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, 2006.

Варіант № а2

Питання 86. Органічні кислоти і їх похідні. Етери та естери (прості і складні ефіри). Властивості, пожежна небезпека.

Відповідь.

Органічними кислотами називаються органічні сполуки, які містять у своєму складі карбоксильну групу –COOH. За систематичною номенклатурою їх назви будують, називаючи вуглеводень з тим же числом атомів карбону, додаючи до назви ще один суфікс „ова” і слово кислота. Наприклад, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ – бутанова кислота, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCOOH}$ - 2-пентенова кислота.і т.д.

З нової сторінки.

Питання 100. Класифікація вогнегасних засобів та основи їх вибору у конкретній ситуації.

Відповідь.

Вогнегасними засобами називаються речовини і матеріали, які вводяться безпосередньо у зону горіння і створюють умови для припинення горіння. Класифікація таких засобів проводиться за двома ознаками: за агрегатним станом і за превалюючим механізмом дії. За агрегатним станом..... і далі, конспектуючи або обговорюючи своїми словами питання

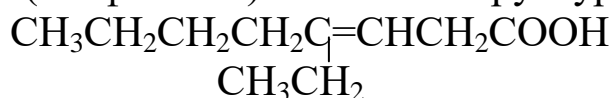
класифікації та основ вибору вогнегасного засобу у конкретній ситуації.

З нової сторінки.

Розрахункова задача 101. Вказати до якого класу сполук відноситься 4-етил-3-октенава кислота. Навести її структурну формулу.

Відповідь

4-Етил-3-октенава кислота відноситься до класу ненасичених (олефінових) кислот. Її структурна формула:



З нової сторінки.

Розрахунково-теоретична задача 58.38.

Питання 60.14. Для етилацетату встановити по довідниках:

-агрегатний стан, фізико-хімічні властивості і структурну формулу;

-токсичність речовини і продуктів її згорання;

-засоби, придатні для гасіння при горінні цієї речовини.

Розрахувати:

-коефіцієнт горючості;

-температуру спалаху;

-нижчу теплоту згорання;

-температуру горіння; температурні межі поширення полум'я;

-стехіометричну концентрацію;

-температурні межі поширення полум'я, висоту полум'я.

Відповідь.

Етилацетат при нормальних умовах являє собою рідину, легшу за воду і в воді нерозчинну. **Температура кипіння** 77 °С. Табличне значення **температури спалаху** (-3 °С), тобто відноситься до легкозаймистих рідин. По хімічних властивостях – це типовий представник складних ефірів (етерів) насичених кислот. **Структурна формула:** CH₃COOCH₂CH₃. Етилацетат –

речовина середньої токсичності. При повному згоранні утворює карбон двооксид та воду. При невеликих концентраціях карбон двооксид токсичності не спричиняє, отже продукти повного згорання етилацетату не токсичні. Гасити горіння етилацетату можна розпиленою водою, піною, вогнегасячими порошками.

Коефіцієнт горючості $K = 4 \times 4 + 8 - 2 \times 2 = 20$.

Температура спалаху за формулою

$$t_{\text{сп}} = t_{\text{кип}} - 18\sqrt{K} = 77 - 18\sqrt{20} = -4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Нижчу теплоту згорання розраховуємо за методом Менделєєва.

Молекулярна маса $M = 4 \times 12 + 8 + 2 \times 16 = 88$. Вміст в речовині карбону $48 \times 100 : 88 = 54,5 \%$, водню $8 \times 100 : 88 = 9,1 \%$, кисню $32 \times 100 : 88 = 36,4 \%$.

За формулою Менделєєва:

$$Q_{\text{н}} = 339,4 \times 54,5 + 1257 \times 9,1 - 108,9 \times 36,4 - 25 \times 9 \times 9,1 = 23924,5 \text{ кДж/кг, або } 23924,5 \times 88 = 2105356 \text{ кДж/кг-моль.}$$

Об'єм продуктів повного згорання 1 кг-молю етилацетату при нормальних умовах з рівняння горіння

$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2 + 5(\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2) = 4\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 18,8\text{N}_2$
дорівнює

$$V_{\text{п.г.}} = 22,4 \times (4 + 4 + 18,8) = 600,3 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

Тепловміст 1 м³ суміші продуктів горіння

$$2105356 : 600,3 = 3507,2 \text{ кДж/ м}^3.$$

З таблиці тепловмісту газів приблизно такий тепловміст азот має при температурі 2300 °С. Враховуючи, що суміш газів такий тепловміст буде мати при меншій температурі, для першого розрахунку обираємо температуру в 2100 °С.

В такому випадку для продуктів згорання 1 кг-моля етилацетату загальний тепловміст складає:

$$Q_{2100} = 4 \times 22,4 \times 5118,2 + 4 \times 22,4 \times 4166,1 + 18,8 \times 22,4 \times 3142,9 = 2155411,3 \text{ кДж, що більше розрахованого вище дійсного } Q_{\text{н}}.$$

Для другого розрахунку обираємо температуру в 1800 °С:

$$Q_{2000} = 4 \times 22,4 \times 4847,8 + 4 \times 22,4 \times 3928,5 + 18,8 \times 22,4 \times 2979,9 = 2041252,0 \text{ кДж.}$$

За формулою інтерполяції дійсна температура горіння складає:

$$t_{\text{дйсн}} = 2000 + \frac{(2100 - 2000)(2105356,0 - 2041252,0)}{21554113 - 20412520} = 2056,2 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Для розрахунку **концентраційних меж поширення полум'я** користуємось значенням β з наведеного вище рівняння хімічної реакції горіння (6).

$$\text{НКМПП} = 100 : (8,684 \times 5 + 4,679) = 2,1 \text{ } \%;$$

$$\text{ВКМПП} = 100 : (1,55 \times 5 + 0,56) = 12,0 \text{ } \%.$$

Враховуючи, що в 100 м^3 повітря знаходиться 21 м^3 кисню, а співвідношення етилацетату і кисню при **стехіометричній** концентрації складає, згідно рівняння хімічної реакції горіння, $1 : 5$, до цих 100 м^3 повітря треба додати $21/5 = 4,2 \text{ м}^3$ парів етилацетату, тобто **стехіометрична** концентрація його в повітрі становитиме $4,2 \times 100 / 104,2 = 4,0 \text{ } \%$.

Для розрахунку **температурних меж поширення полум'я** спочатку знаходимо тиск насиченої пари етилацетату на нижній та верхній концентраційних межах:

$$\text{На нижній: } P = 760 \times 2,1 : 100 = 16,0 \text{ мм рт ст;}$$

$$\text{На верхній: } P = 760 \times 12,0 : 100 = 91,2 \text{ мм рт ст.}$$

З таблиці термодинамічних властивостей для етилацетату тиск насиченої пари складає:

$$10 \text{ мм рт ст.} \quad \text{при температурі} \quad -13,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$40 \text{ мм рт ст.} \quad \text{при температурі} \quad 9,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$100 \text{ мм рт ст.} \quad \text{при температурі} \quad 27,0 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

За методикою інтерполяції:

$$\text{НТМПП} = -13,5 + (16,0 - 10,0) (9,1 + 13,5) : (40 - 10) = -9,0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\text{ВТМПП} = 9,1 + (91,2 - 40) (27,0 - 9,1) : (100 - 40) = 24,3 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Використана література

1. Єлагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М. Основи теорії розвитку і припинення горіння. - Черкаси: ЧПБ, 2001. – 448 с.
2. Петров А.А., Бальян Х.В., Трощенко А.Г. Органическая химия, Из-во “Высшая школа”, М. – 1965. - 493 с.
3. Баратов А.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание. – М.: Химия, 1990. – книга 1. 496 с.
4. Баратов А.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание. – М.: Химия, 1990. – книга 2. 384 с.
5. Єлагін Г. І., Шкарабура М. Г., Тищенко О. М. Методичні вказівки для виконання контрольних робіт з дисциплін “Теорія розвитку і припинення горіння ” та “Теоретичні основи пожежовибухонебезпечності” слухачами заочної форми навчання:. – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, 2006.

Продовження таблиці 1

Температура самоспалахування /К/ деяких ароматичних вуглеводнів залежно від середньої довжини карбонного ланцюга

$L_{\text{сер}}$	$T_{\text{ссп}}$	$L_{\text{сер}}$	$T_{\text{ссп}}$	$L_{\text{сер}}$	$T_{\text{ссп}}$
-2	843	–	–	–	–
-1,9	842	0,1	810	2,1	702
-1,8	841	0,2	794	2,2	701
-1,7	840	0,3	774	2,3	701
-1,6	840	0,4	753	2,4	700
-1,5	839	0,5	733	2,5	700
-1,4	838	0,6	723	2,6	699
-1,3	837	0,7	718	2,7	699
-1,2	837	0,8	715	2,8	698
-1,1	836	0,9	713	2,9	698
-1	835	1	712	3	697
-0,9	835	1,1	711	3,1	697
-0,8	834	1,2	710	3,2	697
-0,7	833	1,3	709	3,3	697
-0,6	832	1,4	708	3,4	696
-0,5	831	1,5	707	3,5	696
-0,4	830	1,6	706	3,6	696
-0,3	829	1,7	705	3,7	696
-0,2	827	1,8	704	3,8	696
-0,1	824	1,9	703	3,9	696
0	819	2	703	4	695

Продовження таблиці 1

**Температура самоспалахування /К/ деяких насичених
одноатомних спиртів залежно від
середньої довжини карбонного ланцюга**

$L_{\text{сер}}$	$T_{\text{ссп}}$	$L_{\text{сер}}$	$T_{\text{ссп}}$	$L_{\text{сер}}$	$T_{\text{ссп}}$	$L_{\text{сер}}$	$T_{\text{ссп}}$
2,0	737	4,4	610	6,8	545	9,2	518
2,1	736	4,5	606	6,9	543	9,3	517
2,2	734	4,6	602	7,0	542	9,4	516
2,3	732	4,7	599	7,1	540	9,5	516
2,4	730	4,8	595	7,2	539	9,6	515
2,5	728	4,9	592	7,3	537	9,7	514
2,6	725	5,0	588	7,4	536	9,8	513
2,7	721	5,1	585	7,5	535	9,9	513
2,8	716	5,2	582	7,6	534	10,0	512
2,9	711	5,3	579	7,7	533	10,5	509
3,0	706	5,4	577	7,8	531	11,0	507
3,1	696	5,5	574	7,9	530	11,5	506
3,2	693	5,6	572	8,0	529	12,0	505
3,3	686	5,7	569	8,1	528	12,5	505
3,4	678	5,8	567	8,2	527	13,0	504
3,5	669	5,9	564	8,3	526	13,5	504
3,6	658	6,0	562	8,4	525	14,0	503
3,7	649	6,1	560	8,5	524	14,5	503
3,8	642	6,2	557	8,6	523	15,0	502
3,9	634	6,3	555	8,7	522	15,5	502
4,0	628	6,4	553	8,8	521	16,0	501
4,1	623	6,5	551	8,9	520	16,5	501
4,2	619	6,6	549	9,0	519	17,0	500
4,3	614	6,7	547	9,1	519	17,5	500

Термодинамічні властивості і тиск насиченої пари речовин

Позначення, прийняті в таблиці:

$H_{зг}$ – теплота згоряння речовини, кДж/моль, визначається для газоподібного стану при температурі 25°C /298 К/, а для інших станів при температурі 20°C /293 К/ (Q_B)^P;

$H_{утв}$ – теплота утворення речовини з її елементів при 298К, кДж/моль (Q_H);

C_p – дійсна мольна стандартна теплоємність при постійному тиску і температурі 298К, Дж/моль•К.

Назва речовини	Формула	Стан	$H_{зг}$, кДж/ моль	$H_{утв}$, кДж/ моль	C_p^0 , Дж/ моль	Температура °С при тиску насиченої пари, мм рт. ст.					
						1 мм	10 мм	40 мм	100 мм	400 мм	760 мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Пентан	C ₅ H ₁₂	г	3538,52	-146,54	120,29	-76,0	-50,1	-29,3	-12,6	18,5	36,1
Бензол	C ₆ H ₆	г	3303,72	82,98	81,73	-45,0	-11,6	7,5	26,1	60,6	80,1
Гексен – І	C ₆ H ₁₂	г	4037,16	- 41,70	132,43	-57,9	-29,3	- 6,8	11,1	44,6	63,5
Циклогексан	C ₆ H ₁₂	г	3955,65	-123,22	106,34	-47,0	-17,0	6,7	25,5	60,8	80,7
3-Метилпентан	C ₆ H ₁₄	г	4193,12	-171,74	143,19	-58,9	-30,1	- 7,5	10,5	44,2	63,3
Гексан	C ₆ H ₁₄	г	4197,56	-167,30	143,19	-54,0	-25,0	- 2,3	15,8	49,6	68,7
Толуол	C ₇ H ₈	г	3950,58	50,03	24,80	-26,1	6,4	31,8	51,9	89,5	110,6
Стирол	C ₈ H ₈	г	4441,78	147,00	122,17	- 1,6	32,8	60,8	82,5	122,7	145,2
Гептан	C ₇ H ₁₆	г	4856,73	-187,95	153,53	-33,0	- 2,0	22,4	41,8	78,0	98,4
Етилбензол	C ₈ H ₁₀	г	4618,58	29,81	128,49	- 9,2	25,9	52,8	74,1	113,8	136,2
o-Ксилол	C ₈ H ₁₀	г	4599,37	19,00	133,35	- 3,7	32,1	59,6	81,3	127,7	144,4
n-Ксилол	C ₈ H ₁₀	г	4598,32	17,96	126,94	- 8,1	27,3	54,4	75,9	115,9	138,4

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	г	9471,00	-332,33	-326,28	80,0	121,9	154,0	179,5	226,9	253,6
Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	г	10130,17	-352,99	-349,18	93,0	136,0	168,7	195,0	243,4	270,6
Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	г	10789,38	-373,59	439,61	105,0	149,0	182,8	209,5	259,0	286,8
Гептадекан	$C_{17}H_{36}$	г	11448,55	-394,94	394,94	117,0	162,0	195,9	223,3	273,8	302,1
Октадекан	$C_{18}H_{38}$	г	12107,72	-414,84	417,84	129,0	173,6	208,8	236,6	288,4	317,0
Нонадекан	$C_{19}H_{40}$	г	12766,93	-435,43	440,70	139,0	185,0	220,8	249,2	302,0	330,0
Ейкозан	$C_{20}H_{42}$	г	13426,10	-456,07	463,60	150,0	196,0	232,5	261,0	314,0	343,0
Мурашина кислота	CH_2O_2	р	262,93	409,47	99,10	- 20,0	2,1	24,0	43,8	80,3	100,6
Метиловий спирт	CH_4O	р	715,52	-238,73	81,64	- 44,0	- 16,2	5,0	21,2	49,9	64,7
Етиловий спирт	C_2H_6O	р	1371,60	-277,82	111,54	- 31,3	- 2,3	19,0	34,9	63,5	78,4
Ацетон	C_3H_6O	р	1786,92	-248,45	75,36	- 59,4	- 31,1	- 9,4	7,7	39,5	56,5
Пропіловий спирт	C_3H_8O	р	2011,76	-307,19	131,26	- 15,0	14,7	36,4	52,8	82,0	97,8
Ізопропіловий спирт	C_3H_8O	р	1987,89	-318,95	164,96	- 26,1	2,4	23,8	39,5	67,8	82,5
Гліцерин	$C_3H_8O_3$	р	1662,16	-669,05	150,31	125,5	167,2	198,0	220,1	263,0	290,0
Діоксан	$C_4H_8O_2$	р	2247,89	-398,08	152,82	- 35,8	- 1,2	25,2	45,1	81,8	101,1
Масляна кислота	$C_4H_8O_2$	р	2177,13	-536,25	176,26	25,5	61,5	88,0	108,0	144,0	163,5
Етилацетат	$C_4H_8O_2$	р	2247,89	-471,31	169,15	- 43,4	- 13,5	9,1	27,0	59,3	77,1
Бутиловий спирт	$C_4H_{10}O$	р	2673,69	-332,18	183,38	- 1,2	30,2	53,4	70,1	100,8	117,5
Етиленгліколь	$C_2H_6O_2$	р	1189,00	-455,40	78,69	53,0	92,6	120,0	141,0	178,5	197,3
<i>m</i> -Ксилол	C_8H_{10}	г	4597,61	17,25	127,66	- 7,2	28,2	55,3	76,8	116,7	139,1
Октан	C_8H_{18}	г	5515,89	-208,59	188,99	- 14,0	19,2	45,1	65,7	104,0	125,7
Пропілбензол	C_9H_{12}	г	5267,99	7,83	153,78	7,4	43,4	71,6	94,0	135,7	159,2
Кумол	C_9H_{12}	г	5264,11	3,94	151,81	2,8	38,3	66,1	88,1	129,2	152,4
Псевдокумол	C_9H_{12}	г	5246,23	- 13,94	154,11	14,8	51,7	80,5	103,4	145,6	169,3

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нонан	C ₉ H ₂₀	г	6196,05	-229,31	211,85	4,0	39,1	66,3	87,9	128,1	150,8
Бутилбензол	C ₁₀ H ₁₄	г	5926,16	- 13,82	177,60	26,6	62,4	91,9	115,3	158,8	183,3
<i>цис</i> -Декалін	C ₁₀ H ₁₈	р	4406,40	-219,59	232,16	29,5	69,4	99,7	123,4	169,0	195,7
<i>транс</i> -Декалін	C ₁₀ H ₁₈	р	6278,11	-230,86	228,64	24,0	63,0	84,9	115,5	161,0	187,3
Ундекан	C ₁₁ H ₂₄	г	7493,53	-270,47	257,61	37,0	75,1	104,6	127,9	171,4	195,9
Декаан	C ₁₀ H ₂₂	г	6834,28	-249,83	234,75	21,0	57,7	86,0	108,6	150,5	174,4
Дифеніл	C ₁₂ H ₁₀	тв	6253,40	102,70	197,19	70,6	117,0	152,5	178,4	228,0	225,5
Додекан	C ₁₂ H ₂₆	г	8152,54	-286,88	280,51	52,0	91,6	122,0	146,1	191,0	216,3
Тридекан	C ₁₃ H ₂₈	г	8811,83	-311,71	303,42	67,0	107,1	138,4	163,3	209,5	235,4
Трет.-бутиловий спирт	C ₄ H ₁₀ O	р	2634,76	-371,33	225,25	-20,4	5,5	24,5	39,8	68,0	82,9
Діетиловий ефір	C ₄ H ₁₀ O	р	2728,54	-273,40	170,82	-74,3	- 48,0	- 27,7	- 11,5	17,9	34,6
Аміловий спирт	C ₅ H ₁₂ O	р	3323,06	-359,48	209,34	13,6	44,9	68,0	85,8	119,8	137,8
Циклогексанол	C ₆ H ₁₂ O	р	3729,18	-349,39	209,05	21,0	55,0	83,0	103,7	141,4	167,0
Піридин	C ₅ H ₅ N	р	2754,91	100,02	132,81	-18,9	13,2	38,0	57,8	95,6	115,2
Анілін	C ₆ H ₇ N	р	3398,43	35,34	199,71	31,0	68,2	96,9	119,4	160,9	184,0
Мезитилен	C ₉ H ₁₂	г	5244,09	- 16,08	150,35	12,3	48,8	77,2	99,7	141,4	164,7
Пропілциклогексан	C ₉ H ₁₈	г	5924,82	-193,43	184,34	4,2	40,2	68,5	91,0	133,0	156,7
Ацетальдегід	C ₂ H ₄ O	г	1172,30	-166,47	62,80	-81,5	- 55,8	- 37,8	- 22,6	4,9	20,2
Оцтова кислота	C ₂ H ₄ O ₂	р	871,72	-399,82	72,84	-17,2	17,1	42,4	62,2	98,1	117,9
Карбон сульфід	CS ₂	р	1076,00	87,92	75,78						
Карбон оксид	CO	г	283,11	-110,60	29,16						
Гідроген сульфід	H ₂ S	г	579,37	- 20,16	33,99						
Вода	H ₂ O	г		-241,80	33,59						
Сульфур діоксид	SO ₂	г		-297,09	39,82						
Карбон діоксид	CO ₂	г		-393,78	37,15						
Азот	N ₂	г			27,88						
Кисень	O ₂	г			29,39						
Хлор	Cl ₂	г			33,95						

Таблиця 3

Внутрішня енергія газів

Темпе- рату- ра, °С	Внутрішня енергія, Дж/моль					
	H ₂	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
200	4039,5	4131,6	4152,5	4152,5	–	–
300	6027,8	6220,4	6233,0	6233,0	6948,8	7497,1
400	8104,1	8363,6	8317,6	8326,0	10059,0	10084,1
600	12290,1	12926,4	12583,1	12729,2	17309,1	15433,8
800	16523,7	17853,3	17070,5	17204,5	25563,9	21323,5
1000	20837,8	23069,0	21834,2	22060,2	34521,9	27531,3
1200	25300,2	28473,2	26832,3	27146,2	43965,6	34325,2
1400	29934,1	34002,9	32006,2	32403,0	53765,0	41525,0
1600	34710,0	39666,5	37305,6	37778,7	63819,8	49143,6
1800	39675,0	45426,5	42726,5	43258,1	74083,8	57159,8
2000	44790,2	51270,1	48256,2	48829,7	84502,8	65510,9
2200	50139,4	57210,1	52819,4	64464,1	95035,8	74092,2
2400	55397,6	53250,5	59441,2	60131,9	105088,1	82882,8
2600	58885,4	69362,0	65092,3	65824,8	116450,4	91861,8
2800	66477,9	74553,1	70802,0	71563,9	127279,5	100967,3
3000	72129,0	81811,2	76549,4	77340,5	138188,2	110217,4
3200	77853,5	88228,4	82316,7	-	149025,0	118850,7
3400	83656,5	94667,7	88119,6	-	160090,7	128116,1
3600	89522,2	101178,2	99939,2	-	171198,3	137483,6
3800	95443,5	107771,5	99775,6	-	189305,8	147036,2
4000	101416,9	114362,4	105620,4	-	193476,2	159213,7

Таблиця 4

Тепловміст газів при сталому тиску

Температура, °C	Тепловміст, кДж/м ³					
	O ₂	N ₂	Повітря	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
0	0	0	0	0	0	0
100	131,8	130,1	130,1	170,1	150,6	181,4
200	267,2	260,9	261,6	357,7	304,7	377,9
300	407,1	393,6	395,4	559,7	463,0	587,0
400	551,4	528,7	532,1	772,6	626,8	824,6
500	669,3	666,6	672,0	925,1	786,2	1034,9
600	850,6	807,8	814,5	1225,6	969,5	1269,6
700	1004,7	951,9	960,3	1463,1	1149,7	1507,5
800	1160,6	1198,2	1108,2	1706,2	1335,3	1746,4
900	1319,0	1246,9	1258,7	1953,8	1527,2	1994,8
1000	1479,6	1398,2	1410,7	2205,2	1724,2	2237,4
1100	1639,5	1551,1	1564,9	2460,4	1926,5	2477,8
1200	1802,1	1705,3	1720,4	2718,5	2133,9	2735,2
1300	1965,1	1861,2	1877,5	2979,1	2345,5	2979,5
1400	2129,8	1808,8	2035,5	3241,4	2560,9	3238,0
1500	2295,7	2176,7	2194,7	3505,7	2781,3	3488,2
1600	2462,4	2335,5	2355,2	3771,4	3004,2	3747,5
1700	2630,5	2495,9	2515,7	4039,6	3231,7	4003,1
1800	2799,7	2656,4	2678,2	4307,3	3461,3	4161,2
1900	2969,4	2818,2	2840,4	4579,7	3693,5	4529,8
2000	3140,8	2979,9	3004,2	4847,8	3928,5	4667,6
2100	3311,7	3142,9	3167,6	5118,2	4166,1	5059,4
2200	3497,8	3306,3	3332,3	5392,5	4405,8	5337,2
2300	3659,1	3469,3	3497,4	5660,7	4667,1	5608,7
2400	3834,3	3633,1	3663,3	5933,0	4890,9	5892,8
2500	4009,8	3797,4	3828,8	6209,6	5187,1	6460,1
2600	4184,9	3953,9	3988,4	6487,4	5387,1	6460,1
2700	4368,9	4135,9	4156,5	6761,8	5639,3	6753,8
2800	4546,1	4304,4	4320,7	7033,7	5897,8	7050,9
2900	4729,2	4469,0	4484,9	7311,1	6159,3	7351,3
3000	4914,9	4634,5	4652,1	7589,7	6425,8	7655,1

Таблиця 5

Показники пожежної небезпеки деяких горючих рідин

Назва рідини	Температура спалаху, °С	ТМПП, °С	КМПП, % об.	Теплота згоряння, кДж/моль	Температура самоспалахування, °С	
					Мін.	Станд.
Ацетон	-18	-2÷6	2,2÷13	1789,1	465	–
Бензол	-11	-14÷13	1,4÷7,1	3282,4	534	562
Гексан	-20	-26÷4	1,2÷7,5	4150,6	–	234
Гліцерин	198	182÷217	2,6÷11,3	1658,8	362	–
Метанол	8	7÷39	6÷34,7	726,6	436	464
Етанол	13	11÷41	–	1374,3	365	404
Пропанол	23	–	2,1÷13,5	2019,6	–	371
Бутанол	34	34÷68	1,7÷12	2677,4	–	345
Трет.-бутиловий спирт	10	9÷13	1,9÷9	–	–	480
Аміловий спирт	27-43	38÷80	1,2÷10	3297,5	273	300
Толуол	4	0÷30	1,3÷6,7	3921,8	490	536
Діетиловий ефір	-41	-45÷13	1,7÷49	2730,6	164	–
Оцтовоетиловий ефір	2	1÷31	3,5÷16,8	2256,3	–	400
Амілацетат	25	20÷58	1,08÷7,5	–	–	360

Таблиця 6

Залежність коефіцієнта f від складу суміші

A%	B%	f	A%	B%	f
0	100	0,0	55	45	27,6
5	95	3,3	60	40	29,0
10	90	6,5	65	35	30,0
15	85	9,2	70	30	30,3
20	80	11,9	75	25	30,4
25	75	14,5	80	20	29,2
30	70	17,0	85	15	26,0
35	65	19,4	90	10	20,0
40	60	21,7	95	5	12,0
45	55	23,9	100	0	0,0
50	50	25,9			

Примітка. За компонент А приймається компонент з більшою температурою спалаху.

Таблиця 7

Константи рівняння Антуана для визначення пружності насиченої пари, в мм рт. ст.

Назва речовини	Хімічна формула	Константи рівняння Антуана		
		A	B	CA
<i>n</i> -Аміловий спирт	C ₅ H ₁₂ O	7,18246	1287,625	161,300
Анілін	C ₆ H ₇ N	6,92129	1457,020	176,195
Ацетальдегід	C ₂ H ₄ O	7,19160	1093,537	233,413
Ацетон	C ₃ H ₆ O	7,25058	1281,721	237,088
Бензол	C ₆ H ₆	6,48898	902,275	178,099
<i>n</i> -Бутиловий спирт	C ₄ H ₁₀ O	9,59730	2664,684	279,638
<i>n</i> -Гексадекан	C ₁₆ H ₃₄	6,78749	1656,405	136,869
<i>n</i> -Гексан	C ₆ H ₁₄	6,87024	1166,274	223,661
<i>n</i> -Гептан	C ₇ H ₁₆	6,95154	12956,405	219,819
<i>n</i> -Декан	C ₁₀ H ₂₂	7,39530	1809,975	227,700
Діоксан	C ₄ H ₈ O ₂	7,52611	1632,425	250,725
Діетиловий ефір	C ₄ H ₁₀ O	6,99790	1098,945	232,372
<i>n</i> -Додекан	C ₁₂ H ₂₆	8,17081	2463,739	253,884
Ізопропіловий спирт	C ₃ H ₈ O	8,38562	1733,000	232,380
<i>m</i> -Ксилол	C ₈ H ₁₀	7,00849	1461,925	215,073
<i>o</i> -Ксилол	C ₈ H ₁₀	6,99891	1474,679	213,686
Метиловий спирт	CH ₄ O	8,22777	1660,454	245,818
<i>n</i> -Нонан	C ₉ H ₂₀	7,05283	1510,695	211,502
<i>n</i> -Октан	C ₈ H ₁₈	6,96903	1379,556	211,896
Оцтова кислота	C ₂ H ₄ O ₂	7,79846	1789,752	245,908
<i>n</i> -Пентадекан	C ₁₅ H ₃₂	6,94237	1739,084	157,545
<i>n</i> -Пентан	C ₅ H ₁₂	6,84715	1062,555	231,805
Піридин	C ₅ H ₅ N	6,78610	1217,730	169,342
<i>n</i> -Пропіловий спирт	C ₃ H ₈ O	8,31708	1751,981	225,125
Сірковуглець	CS ₂	7,00048	1202,471	245,616
Стирол	C ₈ H ₈	7,94049	2113,057	272,986

Продовження табл. 7

<i>n</i> -Тетрадекан	C ₁₄ H ₃₀	7,27514	1950,497	190,513
Толуол	C ₇ H ₈	6,95508	1345,087	219,516
<i>n</i> -Тридекан	C ₁₃ H ₂₈	7,96895	2468,910	250,310
<i>n</i> -Ундекан	C ₁₁ H ₂₄	7,68008	2102,959	242,574
Циклогексан	C ₆ H ₁₂	6,64788	1095,531	210,064
Етилацетат	C ₄ H ₈ O ₂	6,99242	1200,297	214,262
Етилбензол	C ₈ H ₁₀	6,95904	1425,464	213,345
Етиленгліколь	C ₂ H ₆ O ₂	9,01261	2753,183	252,009
Етиловий спирт	C ₂ H ₆ O	8,68665	1918,508	252,125

Таблиця 8

Значення вищої та нижчої теплоти згоряння для речовин у газоподібному стані за стандартних умов

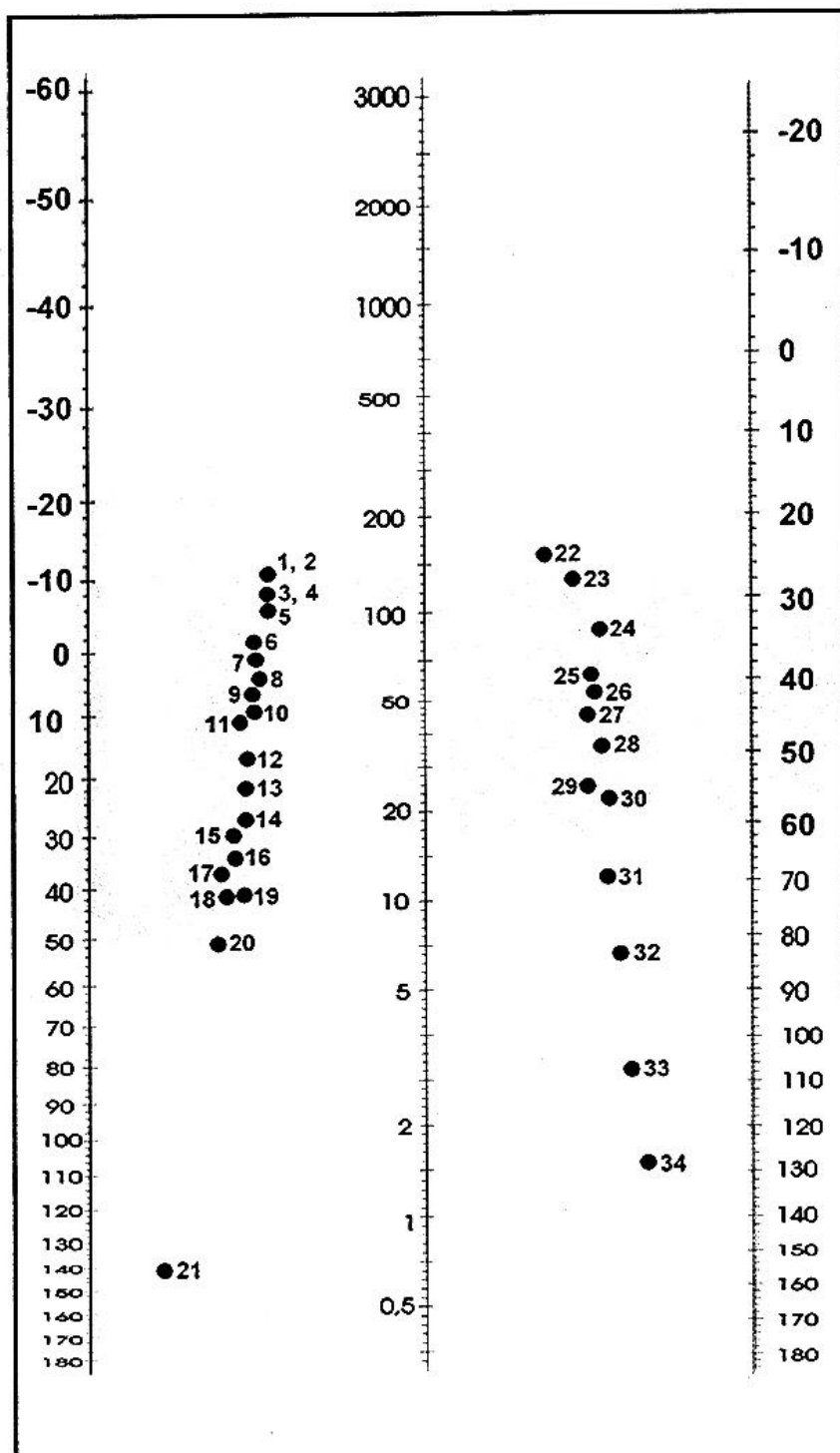
Назва речовини	Хімічна формула	Q _v	Q _n
		кДж/м ³	кДж/м ³
Метан	CH ₄	39820	35880
Етан	C ₂ H ₆	70310	64360
Пропан	C ₃ H ₈	101210	63180
<i>n</i> -Бутан	C ₄ H ₁₀	133800	123570
Ізобутан	C ₄ H ₁₀	132960	122780
Пентан	C ₅ H ₁₂	169270	150630
Гексан	C ₆ H ₁₄	187400	173170
Гептан	C ₇ H ₁₆	216880	200550
Октан	C ₈ H ₁₈	246180	227760
Нонан	C ₉ H ₂₀	276330	256230
Бензол	C ₆ H ₆	162615	155670
Толуол	C ₇ H ₈	176260	168180
Водень	H ₂	12750	10790
Карбон діоксид	CO ₂	12640	12640
Гідроген сульфід	H ₂ S	25350	23700

Таблиця 9

Константи для розрахунку ТМПП

Гомологічний ряд	ТМПП	k	l
Алкани $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$	H	0,6957	73,8
	B	0,7874	50,3
Метилалкани $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$	H	0,7900	52,2
	B	0,6885	74,9
Алкени $\text{CH}_2=\text{CH}-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$	H	0,6867	74,5
	B	0,7976	49,5
Фенілалкани $\text{C}_6\text{H}_5-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$	H	0,6751	70,2
	B	-	-
Нормальні спирти $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{OH}$	H	0,5746	33,7
	B	0,6928	15,0
Естери мурашиної кислоти $\text{HCOO}-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$	H	0,5359	47,6
	H	0,6050	25,0
Естери ацетатної кислоти $\text{CH}_3\text{COO}-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$	H	0,5940	50,0
	B	0,7761	40,8
Первинні аміни типу $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$	H	0,5004	54,6

1. Ізопрен
2. Метилформіат
3. Діетиловий етер
4. Пентан
5. Сірковуглець
6. Етилформіат
7. Метилацетат
8. Гексан
9. Карбонтетрахлорид
10. Етилацетат
11. Бензол
12. Гептан
13. Толуол
14. Бутилацетат
15. Октан
16. Ксилол
17. Амілацетат
18. Скипидар
19. Нонан
20. Декан
21. Дибутилфталат
22. Ацетон
23. Метанол
24. Етанол
25. Вода
26. Пропанол
27. Оцтова кислота
28. Бутанол
29. Циклогексанон
30. Пентанол
31. Анілін
32. Етиленгліколь
33. Діетиленгліколь
34. Гліцерин



Номограма для визначення тиску парів рідин

ДОДАТОК 2

ПРИКЛАД ЗАВДАНЬ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБОТ

1. Загальні зауваження по виконанню контрольної роботи (див. стор. 6)

2. Методика виконання контрольної роботи (див. стор. 6)

В наведеній таблиці у крайньому зліва вертикальному стовпчику розташована передостання цифра залікової книжки студента, у верхньому горизонтальному рядку – остання цифра цієї книжки.

Перші два числа кожної клітинки (верхні) означають номери теоретичних питань, питань з наведеного далі розділу 4 завдання для контрольних робіт.

Третє число (посередині клітинки) означає номер розрахункової задачі з наведеного далі розділу 5 завдання для контрольних робіт.

Останнє число (внизу клітинки) означає номер розрахунково-теоретичного завдання з наведеного далі розділу 6 завдання для контрольних робіт. Умова завдання однакова для всіх варіантів (58 у даному випадку), а речовина у кожному варіанті своя, наведена далі під відповідним номером.

3. Таблица завдань по варіантах.

Остання цифра шифру залікової книжки

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	23,69 50 58.15	24,70 51 58.16	25,71 52 58.17	26,72 53 58.18	27,73 54 58.19	28,74 55 58.20	29,75 56 58.21	30,76 57 58.22	31,77 1 58.23	32,78 2 58.24
1	33,79 3 58.25	34,80 4 58.26	35,81 5 58.27	36,82 6 58.28	37,83 7 58.29	38,84 8 58.30	39,85 9 58.31	40,86 10 58.32	41,87 11 58.33	42,88 12 58.34
2	43,89 13 58.35	44,90 14 58.36	45,91 15 58.1	46,92 16 58.2	47,93 17 58.3	48,94 18 58.4	49,95 19 58.5	50,96 20 58.6	51,97 21 58.7	52,98 22 58.8
3	53,99 23 58.9	54,100 24 58.10	55,101 25 58.11	56,102 26 58.12	57,103 27 58.13	58,104 28 58.14	59,105 29 58.15	60,106 30 58.16	61,107 31 58.17	62,108 32 58.18
4	63,1 33 58.19	64,2 34 58.20	65,3 35 58.21	66,4 36 58.22	67,5 37 58.23	68,6 38 58.24	69,7 39 58.25	70,8 40 58.26	71,9 41 58.27	72,10 42 58.28
5	73,11 43 58.29	74,12 44 58.30	75,13 45 58.31	76,14 46 58.32	77,15 47 58.33	78,16 48 58.34	79,17 49 58.35	80,18 50 58.36	81,19 51 58.1	82,20 52 58.2
6	83,21 53 58.3	84,22 54 58.4	85,23 55 58.5	86,24 56 58.6	87,25 57 58.7	88,26 1 58.8	89,27 2 58.9	90,28 3 58.10	91,29 4 58.11	92,30 5 58.12
7	93,31 6 58.8	94,32 7 58.9	95,33 8 58.10	96,34 9 58.11	97,35 10 58.12	98,36 11 58.13	99,37 12 58.14	100,38 13 58.15	101,39 14 58.16	102,40 15 58.17
8	103,41 16 58.18	104,42 17 58.19	105,43 18 58.20	106,44 19 58.21	107,45 20 58.22	108,46 21 58.23	1,47 22 58.24	2,48 23 58.25	3,49 24 58.26	4,50 25 58.27
9	5,51 26 58.28	6,52 27 58.29	7,53 28 58.30	8,54 29 58.31	9,55 30 58.32	10,56 31 58.33	11,57 32 58.34	12,58 33 58.35	13,59 34 58.36	14,60 35 58.1

4. Питання

1. Об'єкт уваги дисципліни “Теорія горіння та вибуху”. Місце дисциплін серед інших, які вивчаються спеціалістами пожежної охорони.
2. Поняття про пожежу і горіння.
3. Проста і складна речовини. Будова речовини: атом, молекула, протон, нейтрон, електрон, хімічний елемент.
4. Валентність хімічних елементів. Моль. Кілограм-моль. Закон Авогадро.
5. Класифікація хімічних речовин (прості і складні, органічні і неорганічні).
6. Природа хімічного зв'язку. Типи хімічного зв'язку.
7. Хімічна реакція. Процес горіння як різновид хімічної реакції. Горіння з точки зору електронної теорії будови атомів.
8. Полум'я : структура, колір, види.
9. Світіння полум'я. Колір світіння. Розрахунок світіння дифузійного полум'я.
10. Рівняння реакції горіння речовин у повітрі. Приклади рівнянь горіння галогеновмісних сполук.
11. Складання стехіометричних рівнянь процесу горіння речовин. Приклади рівнянь горіння сульфурвмісних сполук.
12. Витрати повітря на горіння індивідуальних речовин та їх сумішей. Розрахунок витрат повітря.
13. Продукти згорання речовин. Дим. Розрахунок об'єму сухих та вологих продуктів згорання.
14. Екзо- та ендотермічні реакції. Теплота утворення речовин.
15. Перший і другий закони термохімії. Вища і нижча теплота згорання.
16. Розрахунок теплоти згорання індивідуальної речовини за законом Геса.
17. Розрахунок теплоти згорання суміші речовин по теплотах згорання компонентів.
18. Розрахунок теплоти згорання матеріалів за формулою Д. І. Менделєєва.
19. Калориметрична, теоретична і дійсна температура горіння.
20. Перетворення при нагріванні речовин різного типу і різного агрегатного стану.

21. Гомогенні і гетерогенні реакції. Приклади гомогенного і гетерогенного горіння.
22. Кінетика хімічних реакцій. Рівняння Ареніуса. Фактори, що впливають на швидкість хімічної реакції, зокрема реакції гомогенного горіння.
23. Явище каталізу. Позитивний і негативний, гомогенний і гетерогенний каталіз. Механізм дії каталізаторів.
24. Ланцюгові реакції. Механізм з точки зору будови атома (молекули) і стадії розвитку при горінні.
25. Пероксидна теорія горіння О. М. Баха та К. Енглера і її сучасне трактування.
26. Теплова теорія самоспалахування М. М. Семенова (співвідношення між тепловиділенням і тепловідводом).
27. Температура самоспалахування (дійсна і практично вимірювана). Період індукції. Залежність температури самоспалахування від об'єму та форми ємності, складу горючої речовини. Вогнеперешкоджувачі.
28. Експериментальні та розрахункові методи визначення температури самоспалахування.
29. Самонагрівання матеріалів. Класифікація за причинами самонагрівання.
30. Самонагрівання матеріалів. Температура самонагрівання. Пірофорні речовини.
31. Теплове самозаймання жирів та масел. Фактори, що впливають на самозаймання жирів та масел. Йодне число.
32. Теплове самозаймання вугілля. Фактори, які на нього впливають.
33. Утворення і самозаймання сульфідів металів. Запобігання пожежі, спричиненої сульфідом заліза.
34. Самозаймання при окисленні білого фосфору, лужних металів, карбідів металів, подрібнених металів.
35. Мікробіологічне самозаймання.
36. Самозаймання внаслідок хімічних реакцій речовин між собою (карбіди металів, негашене вапно; взаємодія відновників з окислювачами).
37. Примусове займання горючих систем. Відміна примусового спалахування від самоспалахування. Види джерел запалювання.
38. Теплова теорія спалахування. Критична умова спалахування за Я. Б. Зельдовичем.
39. Теплова теорія спалахування. Рівняння Д. А. Франк-Каменецького.

40. Температура запалювання нагрітою поверхнею. Фактори, що на неї впливають. Індукційний період при примусовому спалахуванні.
41. Запалювання іскрами різного походження. Фактори, які впливають на займання під дією іскор.
42. Запалювання електричним розрядом. Теплова і іонна теорія запалювання.
43. Мінімальна енергія запалювання. Залежність її від зовнішніх факторів.
44. Розрахунок запалювальної здатності теплових джерел запалювання.
45. Кінетичне горіння газових сумішей. Фронт полум'я. Температура, тиск і концентрація в смузі полум'я, за смугою і перед нею.
46. Нормальна, масова і видима швидкість поширення полум'я при кінетичному горінні газових сумішей.
47. Дифузійна і теплова теорії поширення полум'я при кінетичному горінні газових сумішей.
48. Рівняння залежності нормальної швидкості поширення полум'я при горінні газових сумішей від параметрів процесу (рівняння Я. Б. Зельдовича). Критичний гасячий діаметр.
49. Концентраційні межі поширення полум'я по газових сумішах. Формули розрахунку.
50. Концентраційні межі поширення полум'я по газових сумішах. Залежність від потужності джерела запалювання, домішок активних та інертних флегматизаторів, початкової температури і тиску.
51. Детонаційне горіння газів і парів.
52. Вибух. Алгоритм розрахунку температури і максимального тиску вибуху.
53. Випаровування рідин. Насичена пара. Визначення тиску насиченої пари індивідуальної речовини по номограмі, за рівнянням Клаузіуса-Клапейрона, по таблицях.
54. Розрахунок тиску насиченої пари суміші рідин.
55. Розрахунок концентрації пари рідини в повітрі. НКМПП та ВКМПП.
56. Визначення ступеню небезпечності концентрації парів рідини в повітрі. Гранично допустима вибухобезпечна концентрація.
57. Спалах та спалахування рідини. Температура спалаху у закритому та відкритому тиглях.

58. Температура спалаху індивідуальних рідин і сумішей. Способи визначення.
59. Температурні межі поширення полум'я по поверхні рідини. Способи їх розрахунку.
60. Методи розрахунку температури спалаху рідин.
61. Поширення полум'я по поверхні рідини. Фактори, від яких залежить швидкість поширення полум'я.
62. Вигорання індивідуальних рідин і їх сумішей. Швидкість вигорання і фактори, від яких вона залежить.
63. Прогрівання рідини при горінні вглиб. Розподіл температур першого типу і гомотермічний розподіл. Закипання рідин в резервуарі (спінення). Викид.
64. Перетворення твердих речовин при горінні. Механізм горіння деревини і пластмас. Перевуглювання.
65. Горіння металів.
66. Поширення полум'я по поверхні твердих матеріалів. Залежність швидкості поширення полум'я від окремих факторів (вологість, кут нахилу поверхні, підложка, вітер, подрібненість матеріалів).
67. Вигоряння твердого матеріалу. Лінійна, масова та приведена масова швидкість вигоряння.
68. Горіння пилоповітряних сумішей. Аерогель і аерозоль.
69. Горіння аерогелю. Температура спалахування. Температура тління. Подвійний, потрійний і т.д. вибух при горінні аерогелю.
70. Горіння аерозолю органічної речовини. Механізм теплопередачі.
71. Горіння аерозолю металу. Співвідношення об'ємів горючої суміші і продуктів горіння.
72. Концентраційні межі поширення полум'я аерозолю. Фактори, що впливають на НКМПП. Розрахунок НКМПП для дрібно- та грубодисперсного аерозолю.
73. Класифікація речовин по групах горючості.
74. Розрахунок горючості речовини за коефіцієнтом горючості і за теплотою згоряння.
75. Стандартні показники пожежо- та вибухонебезпечності.
76. Теорія хімічної будови А.М.Бутлерова. Ізомерія.
77. Основи класифікації і номенклатури органічних сполук.
78. Насичені, олефінові, ацетиленові, аліциклічні та ароматичні вуглеводні. Будова. Загальна формула.

79. Показники пожежної небезпеки вуглеводнів і їх залежність від будови сполуки і довжини карбонового ланцюга.
80. Номенклатура та ізомерія галогеновмісних сполук. Особливості галогеновмісних сполук при згорянні.
81. Поняття про елементоорганічні сполуки. Пожежна і токсикологічна небезпечність їх.
82. Мономери і полімери. Процеси полімеризації і поліконденсації. Тримірні (зшиті) структури.
83. Перетворення пластичних мас різного типу а також синтетичних волокон і гум при нагріванні і горінні.
84. Нітро- та аміносполуки. Будова. Перетворення при нагріванні і згорянні. Нітротолуоли.
85. Спирти. Альдегіди. Кетони. Пероксиди. Нітрогліцерин. Будова, пожежо- і вибухонебезпечність.
86. Органічні кислоти і їх похідні. Прості і складні ефіри (етери та естери). Властивості, пожежна небезпека.
87. Правила зберігання і застосування речовин, що використовуються у сільському господарстві.
88. Класифікація пожеж за умовами масо- і теплообміну та за видами горючих матеріалів.
89. Основні параметри розвитку пожежі. (постійне та тимчасове пожежне навантаження, площа і фронт пожежі, швидкість збільшення площини, температура, тривалість і т.д.).
90. Методи розрахунку безпечних меж поширення полум'я, безпечної робочої температури нагріву технологічної поверхні.
91. Особливості розвитку пожеж класів В та С на відкритих просторах.
92. Особливості розвитку пожеж класу А на відкритих просторах.
93. Визначення лінійної швидкості поширення пожеж на відкритій місцевості.
94. Температурний режим пожежі в огороженні.
95. Зміна основних параметрів пожежі в приміщенні у часі.
96. Розрахунок висоти нейтральної зони при пожежі у приміщенні.
97. Граничні параметри горіння і їх значення у забезпеченні пожежної безпеки.
98. Теплова теорія згасання полум'я.
99. Фізико-хімічні механізми припинення горіння і їх залежність від режиму горіння і від агрегатного стану речовини.

100. Класифікація вогнегасних засобів та основи їх вибору у конкретній ситуації.
101. Припинення горіння охолодженням. Види охолоджуючих засобів.
102. Умови згасання полум'я при охолодженні горючих газів, рідин, твердих речовин.
103. Залежність типу вогнегасячого засобу, що застосовується від режиму горіння і від агрегатного стану горючої речовини.
104. Припинення горіння нейтральними газами. Область застосування флегматизаторів.
105. Механізм вогнегасної дії хімічно-активних інгібіторів. Їх умовні позначення і область застосування.
106. Класифікація ізолюючих вогнегасних засобів. Основні параметри, що характеризують вогнегасну дію повітряно-механічних пін: кратність, дисперсність, в'язкість, стійкість.
107. Механізм гасіння вогнегасними порошками. Загальні відомості про склад і область застосування вогнегасних порошоків.
108. Комбіновані вогнегасячі засоби. Способи використання комбінованих засобів гасіння пожеж.

5. Розрахункові задачі.

1. Визначити об'єм; температура (-20°C); тиск повітря, необхідний для згоряння 2 м^3 ацетилену. Коефіцієнт надлишку повітря 1,4.
2. Визначити об'єм повітря, необхідний для згоряння 8 кг метану. Коефіцієнт надлишку повітря 1,5720 мм рт. ст.
3. Визначити об'єм повітря, необхідний для згоряння 10 кг палива складу: $[\text{C}] = 70\%$, $[\text{H}] = 10\%$, $[\text{N}] = 3\%$, $[\text{S}] = 4\%$, $[\text{O}] = 3\%$, зола = 5%, волога = 5%.
4. Визначити об'єм продуктів горіння, що утворюються при спалюванні 3 м^3 бутану. Температура продуктів горіння 1300 К, тиск 101,3 кПа. Коефіцієнт надлишку повітря 1,2.
5. Визначити об'єм продуктів горіння, що утворюються при спалюванні 10 м^3 суміші, яка містить 20% об. пропану і 80% об. метану. Температура продуктів згоряння 1200 К, тиск 720 мм рт. ст.
6. Визначити об'єм і склад продуктів спалювання 20 кг метану. Температура продуктів згоряння 900°C , тиск 740 мм рт. ст.
7. Визначити об'єм продуктів спалювання 10 кг паперу, складу: $[\text{C}] = 55\%$, $[\text{H}] = 25\%$, $[\text{S}] = 3\%$, $[\text{O}] = 13\%$, зола = 2%, волога = 2%. Температура продуктів згоряння 800°C , тиск 101,3 кПа.
8. Визначити склад продуктів згоряння 5 кг суміші, яка складається з 20% дихлоретану і 80% етилового спирту. Коефіцієнт надлишку повітря 1,3.
9. Розрахувати коефіцієнт горючості триетаноламіну $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_3\text{N}$. Зробити висновок про його пожежонебезпечність.
10. Знайти нижчу теплоту згоряння суміші з 2 кг гексану і 5 кг бензолу, користуючись даними про їх теплоту утворення.
11. Знайти нижчу теплоту згоряння для гуми складом: $[\text{C}] = 85\%$, $[\text{H}] = 12\%$, $[\text{S}] = 3\%$.
12. Знайти вищу теплоту згоряння картону складу: $[\text{C}] = 40\%$, $[\text{H}] = 20\%$, $[\text{O}] = 30\%$, зола = 5%, волога = 5%.
13. Визначити калориметричну температуру горіння етиленгліколю.
14. Визначити калориметричну температуру горіння гасу складу: $[\text{C}] = 92\%$, $[\text{H}] = 8\%$.
15. Визначити, як зміниться швидкість горіння водню в повітрі, якщо тиск зменшиться з 750 мм рт. ст. до 250 мм рт. ст.

16. Визначити концентрацію (в г/м^3) метану; при якій швидкість горіння його в повітрі буде максимальною.

17. Розрахувати допустиму температуру нагріву технологічної поверхні, якщо в виробництві застосовується гексанол. Температура самоспалахування 285°C .

18. Визначити максимальний тиск вибуху суміші метану з повітрям, якщо температура вибуху становила 1000°C , а температура вихідної суміші 20°C .

19. Розрахувати температуру і максимальний тиск вибуху суміші водню з киснем при початковій температурі 25°C .

20. Визначити концентраційні межі поширення полум'я етану.

21. Визначити концентраційні межі поширення полум'я в суміші, що складається з 50% водню, 20% ацетилену і 30% оксиду вуглецю.

22. Користуючись рівнянням Антуана, визначити тиск насиченої пари стиролу при температурі 80°C .

23. Користуючись номограмою, знайти тиск насиченої пари гліцерину при температурі 150°C . Перевірити знайдене значення, користуючись таблицею термодинамічних властивостей речовин.

24. Користуючись таблицею термодинамічних властивостей, визначити температуру, при якій тиск насиченої пари стиролу дорівнюватиме 60 мм рт. ст.

25. Знайти тиск насиченої пари суміші ацетону (20%) і октану (80%) при температурі 30°C .

26. Знайти гранично допустиму вибухобезпечну концентрацію толуолу.

27. Визначити тиск насиченої пари суміші води (30%) та гексану (70%) при температурі 30°C .

28. Визначити температурні межі поширення полум'я для н-октану.

29. Визначити температуру самоспалахування 2,2,4-триметилпентану (ізооктану), вираховавши середню довжину вуглецевого ланцюга.

30. Вирахувати температуру спалаху суміші 40% бензолу та 60% стиролу, користуючись формулою Елея.

31. Визначити ступінь небезпечності парів ацетону при температурі 40°C і тиску 760 мм рт. ст.

32. Визначити ступінь небезпечності суміші пентану з кумолом при температурі 50°C і тиску 760 мм рт. ст.

33. Визначити нижню концентраційну межу поширення полум'я для аерозолу фенолу з середньою дисперсністю 9 мкм.

34. Визначити нижню концентраційну межу поширення полум'я для аерозолу антрацену з середньою дисперсністю 45 мкм.

35. Визначити температурні межі поширення полум'я бутілбензолу.

36. Визначити температурні межі поширення полум'я і по них температуру спалаху для о-ксилолу.

37. Розрахувати масову і видиму швидкість поширення полум'я в суміші етану з повітрям (вміст етану 10,0% за масою), якщо нормальна швидкість дорівнює 1,35 м/с а кут нахилу фронту полум'я до горизонталі - 60° .

38. Розрахувати лінійну швидкість вигорання бензолу, якщо масова швидкість його вигорання в даному резервуарі складає $22,0 \text{ г/см}^2 \cdot \text{хв}$.

39. Розрахувати приведену масову швидкість вигорання букових дощок, якщо поверхня горіння складала 180 м^2 , площа пожежі 90 м^2 , а лінійна швидкість вигорання $20 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$. Густина букової деревини прийняти рівною 800 кг/м^3 .

40. Розрахувати коефіцієнт горючості і теплоту згорання оцтової кислоти і зробити висновок про її горючість.

41. Розрахувати коефіцієнт горючості і теплоту згорання хлороформу. Зробити висновок про горючість хлороформу.

42. Вказати скільки ізомерів класу спиртів може мати н-аміловий спирт (1-пентанол). Навести структурні формули ізомерів.

43. Вказати до якого класу сполук відноситься 2,2,4-триметилпентан. Навести структурну формулу.

44. Вказати до якого класу сполук відноситься 3-хлор-1-бутен. Навести його структурну формулу.

45. Вказати до якого класу сполук відноситься 3-метилгептанова кислота. Навести її структурну формулу.

46. Вказати до якого класу сполук відноситься бутилацетат. Навести структурну формулу.

47. Вказати до якого класу сполук відноситься 4-етил-2-октанон. Навести структурну формулу.

48. Пояснити різницю між поліетиленом і поліетилентерефталатом. Написати рівняння отримання їх з мономерів.

49. Пояснити різницю між каучуком, гумою та ебонітом. Написати рівняння вулканізації бутадієнового каучуку сіркою.

50. Розрахувати постійне і тимчасове пожежне навантаження (в $\text{кг}/\text{м}^2$) в кімнаті з дубовою підлогою площею 80 кв. м, виготовленою з дощок товщиною 30 мм, якщо в кімнаті зберігається десять 30-літрових бутлів з бензолом і десять 20-літрових бутлів з метанолом. Густина деревини прийняти рівною $900 \text{ кг}/\text{м}^3$.

51. Розрахувати висоту факелу полум'я при пожежі на газовій свердловині з дебітом $0,5 \text{ млн. м}^3$ на добу.

52. Розрахувати висоту факелу полум'я, якщо горить етиловий спирт в резервуарі діаметром 5 м, розташованому в захищеному від вітру місці.

53. Розрахувати швидкість поширення полум'я на складі деревини, якщо нормальна лінійна швидкість горіння цієї деревини $0,04 \text{ м}/\text{с}$, а швидкість вітру $15 \text{ м}/\text{с}$.

54. Розрахувати приблизне значення дійсної температури пожежі, якщо горить етиловий спирт на відкритій площадці.

55. Користуючись стандартною температурою кривою, розрахувати приблизне значення середньооб'ємної температури на 15-ій хвилині пожежі в приміщенні з площею підлоги 80 кв. м. і площею проємів 5 кв. м.

56. Розрахувати секундний масовий надлишок повітря при пожежі в приміщенні площею 80 м^2 , якщо приведена швидкість вигорання горючих речовин $9 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, середня теоретично необхідна кількість повітря $8,0 \text{ м}^3$ на 1 кг горючих речовин, площа проємів 5 кв. м і швидкість притоку повітря в проємі $1,0 \text{ м}/\text{с}$.

57. Розрахувати відстань до нейтральної зони від осі верхніх та нижніх проємів, якщо пожежа з температурою продуктів горіння 400°C відбувається в приміщенні висотою 5 м, з площею відкритих дверей $2,0 \text{ м}^2$ і вибитим вікном у верхній частині приміщення розміром $1 \times 2 \text{ м}$. Температура зовнішнього повітря 25°C .

6. Розрахунково-теоретична задача.

58. Для одної з речовини, перерахованих в п. п. 58.1 - 58.36, встановити по довідниках:

- агрегатний стан і фізико-хімічні властивості,
- токсичність речовини і продуктів її згоряння,
- засоби, придатні для гасіння, при горінні цієї речовини;

розрахувати:

- коефіцієнт горючості,
- температуру спалаху,
- нижчу теплоту згоряння,
- температуру вибуху,
- максимальний тиск вибуху,
- концентраційні межі вибухонебезпечності,
- температурні межі вибухонебезпечності.

58.1. Карбон оксид (оксид вуглецю). 58.2. Карбон сульфід (сірковуглець). 58.3. Гідроген сульфід (сірководень). 58.4. Метан. 58.5. Гексан. 58.6. Гептан. 58.7. Октан. 58.8. Нонан. 58.9. Декан. 58.10. Додекан. 58.11. Тридекан. 58.12. Тетрадекан. 58.13. Ейкозан. 58.14. Метилпентан. 58.15. Гексен-1. 58.16. Циклогексан. 58.17. Бензол. 58.18. Толуол. 58.19. о-Ксилол. 58.20. п-Ксилол. 58.21. Стирол (етенілбензол). 58.22. Метанол. 58.23. Етанол. 58.24. Бутанол. 58.25. Гліцерин (1,2,3-пропантріол). 58.26. 2-метил-2-пропанол. 58.27. Етиленгліколь (1,2-етандіол). 58.28. Ацетон (пропанон). 58.29. Діетиловий етер. 58.30. Циклогексанон. 58.31. Ацетальдегід (етаналь). 58.32. Мурашина (метанова) кислота. 58.33. Оцтова (етанова) кислота. 58.34. Піридин. 58.35. Масляна (бутанова) кислота. 58.36. Анілін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Слагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М. Основи теорії розвитку і припинення горіння. - Черкаси: ЧПБ, 2001. – 448 с.
2. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. Учебное пособие. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
3. Бронишевский Б.П., Шандыба В.А., Специальная химия. Учебное пособие. – М.: Учебно-методический кабинет МВД СССР, 1980. – 116 с.
4. Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К., Крылов Е.В. Процессы горения. Учебное пособие. – М.: Высшая инженерно-техническая школа МВД СССР, 1984. – 268 с.
5. Демидов П.Г., Саушев В.С. Горение и свойства горючих веществ. Учебное пособие. – М.: Высшая инженерно-техническая школа МВД СССР, 1975. – 280 с.
6. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. Учебное пособие. – М.: Высшая инженерно-техническая школа МВД СССР, 1980. – 256 с.
7. Специальная химия: Задания и методические указания для выполнения контрольной работы слушателями-заочниками пожарно-технических училищ МВД СССР. – М.: МССШМ, 1989. - 88 с.
8. Методические указания по изучению курса «Теория горения и развития пожаров» и задания для выполнения контрольных работ (для слушателей отделения заочного обучения) – Харьков: Учебно-научный комплекс ХИСИ-ХПТУ, 1993. - 103 с.

9. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочник. Под ред. Баратова А.Н. – М.: Химия, 1987. – 271 с.
10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2-ух т. Под ред. Баратова А.Н. и Корольченко А.Я. – М.: Химия, 1990. – 779 с.
11. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. – М.: Химия, 1979. – 423 с.
12. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика. Учебное пособие. – М.: Стройиздат, 1984. – 591 с.
13. Глинка Н.Л. Общая химия. Учебное пособие. – М.: Химия, 1988. – 703 с.
14. Повзик Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. Пожарная тактика. Учебное пособие. – М.: Стройиздат, 1990. – 334 с.