



Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Н.В. Саєнко, Т.М. Обіженко, А.В. Скрипинець

«ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ»

Лабораторний практикум

Навчально-методичний посібник

Харків 2021

Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Н.В. Саєнко, Т.М. Обіженко, А.В. Скрипинець

**«ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ»**

Лабораторний практикум

Рекомендовано
Науково-методичною радою університету
як навчально-методичний посібник для студентів спеціальностей
161 «Хімічні технології та інженерія»
192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Харків 2021

УДК 691.17

Рецензенти:

Юніс Башир, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри міцності літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"

Т.О. Костюк, професор, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних конструкцій та матеріалознавство, Харківський національний університет будівництва та архітектури

Рекомендовано кафедрою будівельних композиційних матеріалів і технологій, протокол № 4 від 07.10.2021 р.

Затверджено науково-методичною радою університету, протокол № 7 від 28. 10 2021 р.

Автори: Н.В. Саєнко, Т.М. Обіженко, А.В. Скрипинець

Л-12 – Н.В. Саєнко, Т.М. Обіженко, А.В. Скрипинець. Пожежна безпека будівельних полімерних композиційних матеріалів. Лабораторний практикум. Навчально-методичний посібник. Х.: ХНУБА, 2021. 57 с.

У посібнику питання теорії і практики об'єднані в єдину форму занять. Виконання дослідів побудоване як самостійне наукове дослідження: постановка задачі, її теоретичне обґрунтування та експериментальна перевірка. Представлені методи дослідження за напрямком визначення пожежної безпеки будівельних полімерних композиційних матеріалів. Для закріплення матеріалу після кожної лабораторної роботи наведені запитання для самоперевірки.

Видання призначене для студентів спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія» та 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Іл.: 17; табл.: 20 бібліограф.: 14 назв

© Н.В. Саєнко, Т.М. Обіженко,
А.В. Скрипинець, 2021

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота № 1 Ідентифікація полімерів за їх поведінкою в полум'ї	11
Лабораторна робота № 2 Визначення розчинності полімерів	14
Лабораторна робота № 3 Визначення хімічної стійкості пластмас	17
Лабораторна робота № 4 Визначення групи горючості полімерних будівельних матеріалів	19
Лабораторна робота № 5 Визначення горючості полімерів за кисневим індексом	22
Лабораторна робота № 6 Визначення температури займання, «самозаймання» та тління полімерних матеріалів	27
– 6.1 Визначення температури займання полімерів	28
– 6.2 Визначення температури «самозаймання» полімерів	29
– 6.3 Визначення температури тління полімерних матеріалів	30
Лабораторна робота № 7 Дослідження пожежної небезпеки полімерних матеріалів розпеченим дротом	31
Лабораторна робота № 8 Дослідження пожежної небезпеки полімерних матеріалів пальником з голчастим полум'ям	36
Лабораторна робота № 9 Визначення горючості лакофарбових матеріалів	38
Лабораторна робота № 10 Метод визначення механічної міцності спученого вогнезахисного складу	39
Лабораторна робота № 11 Диференційний термічний та термогравіметричний методи аналізу полімерів	41
Література	57

ВСТУП

ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ПОЛІМЕРНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Пожежна небезпека передбачає можливість виникнення або швидкого розвитку пожежі. Речовини та матеріали, властивості яких певним чином сприяють виникненню або розвитку пожежі, відносяться до пожежно небезпечних. За здатністю горіти в атмосфері повітря (21% кисню) матеріали діляться на негорючі, важкогорючі та горючі.

Негорючими називають речовини або матеріали, що не здатні горіти при температурі 900°C . Однак, деякі негорючі речовини розкладаються при значно нижчих температурах, і серед них багато пожежно небезпечних.

Важкогорючі – речовини, що здатні загорятися під дією джерела запалювання, але не можуть самостійно горіти після припинення дії останнього.

Горючі речовини та матеріали здатні самостійно загорятися, а також загорятися під дією джерела запалювання і продовжувати самостійно горіти після його видалення.

Більшість полімерів і полімерних матеріалів при температурі вищій 300°C стійко горять у повітрі. Горіння полімерів – це складний багатостадійний процес, що супроводжується екзотермічними окисно-відновними реакціями і, майже завжди, світінням або утворенням полум'я, яке розповсюджується в просторі з дозвуковою швидкістю.

Горіння полімерів відносять до горіння твердого палива, однак їх займання і горіння має ряд відмінностей від горіння твердого палива.

По-перше, паливом у полімерах є продукти термічної і термоокиснювальної деструкції полімеру, що проходить під дією на нього високотемпературних теплових потоків. Від складу і кількості продуктів піролізу, що передують займанню і горінню, залежать характеристики і закономірності самого горіння.

По-друге, горіння більшості полімерів лімітується процесами масо- і теплопередачі та визначається умовами дифузії горючих продуктів розкладу, кисню повітря та продуктів їх змішування. Тому горіння полімерів дифузійне, а полум'я відносять до дифузійного.

Залежно від структури полімеру, характеру його термічного розкладу, наявності різних добавок, умов займання та горіння будуть переважати ті чи інші напрямки процесу горіння (рис. 1).

Горіння полімерних матеріалів супроводжується виділенням диму, що обумовлено неповним згоранням палива. Утворення диму значно збільшує небезпечність пожеж. При горінні виділяються токсичні гази, наприклад, хлорид водню, який адсорбується на поверхні часток диму і попадає разом

із ними в дихальні шляхи. Крім того, через дим погіршується видимість, що ускладнює дії пожежних та можливість евакуації людей.

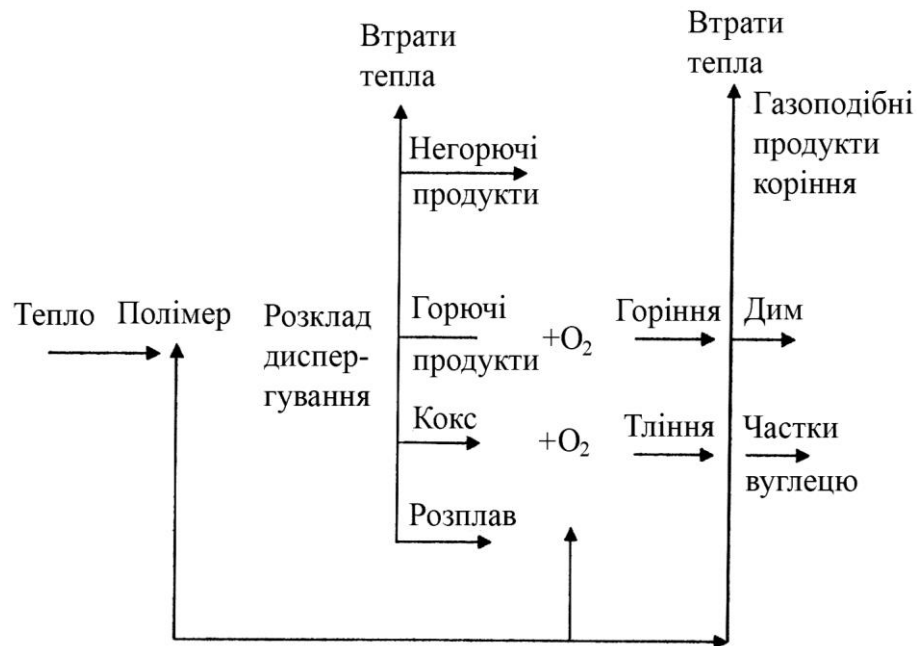


Рисунок 1 – Схема процесу горіння полімерних матеріалів

Кількість диму при горінні полімерних матеріалів залежить від багатьох чинників, однак основним є структура полімеру, яка визначає характер і механізм термічного розкладу при горінні.

Результати досліджень димоутворення при горінні полімерів показують, що:

- полімери з алифатичною будовою ланцюга легко горять, але виділення

диму при цьому незначне;

- полімери, що містять галогени, як правило, важкогорючі, проте при горінні утворюється велика кількість диму;

- полімери, що містять ароматичні замісники (наприклад, полістирол),

легко згоряють із виділенням значної кількості диму;

- полімери з ароматичними групами в основному ланцюзі (полікарбонати,

епоксидні полімери) менш горючі і виділяють менше диму, ніж полімери з ароматичними групами в бокових ланцюгах.

Перенесення тепла під час горіння полімерів протікає шляхом теплопровідності, конвекції і випромінювання, а для термопластичних полімерів ще і шляхом руху гарячого розплаву у вигляді крапель, плям і бризок. Вплив кожного виду переносу тепла в загальний тепловий баланс залежить від характеристик системи, що горить, і умов, в яких вона знаходиться.

Для визначення пожежної небезпеки полімерних будівельних матеріалів в Україні використовують ГОСТ 12.1.044-89 “Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения”, ДСТУ В.2.7.-19-95 (ГОСТ 30244 – 94) „Матеріали будівельні. Методи випробування на горючість”, ДСТУ Б В.1.1-2-97 (ГОСТ 30402-96) “Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість”, ДСТУ Б В.1.1-2-97 (ГОСТ 30402-96) “Матеріали будівельні. Метод випробування на розповсюдження полум'я”.

Згідно з ГОСТ 12.1.044-89 визначають наступні показники.

Метод експериментального визначення групи негорючих матеріалів

Суть методу випробувань полягає у створенні стабільного температурного режиму в трубчастій печі ($750 \pm 5^{\circ}\text{C}$), введенні зразка в піч та утриманні його до досягнення температурної рівноваги в печі, на поверхні та всередині зразка. Матеріал відносять до групи негорючих за таких умов:

- середнє арифметичне значення зміни температури в печі, на поверхні та всередині зразка не перевищує 50°C ;
- середнє арифметичне значення втрати маси для п'яти зразків не перевищує 50% від середнього значення їх початкової маси;
- середнє арифметичне значення тривалості стійкого горіння п'яти зразків не перевищує 10 с.

Метод експериментального визначення групи важкогорючих та горючих твердих речовин і матеріалів

Суть методу випробувань полягає у впливі на зразок, що розташований у керамічній трубці установки ОТМ, полум'я пальника з заданими параметрами (температура газоподібних продуктів горіння на виході з керамічної труби становить $200 \pm 5^{\circ}\text{C}$). Під час проведення експериментальних досліджень фіксується максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння (ΔT) та втрата маси зразка (Δm). За результатами випробувань матеріали класифікуються таким чином:

- важкогорючі – $\Delta T < 60^{\circ}\text{C}$ та $\Delta m < 60\%$;
- горючі – $\Delta T \geq 60^{\circ}\text{C}$ або $\Delta m \geq 60\%$.

Горючі матеріали поділяються залежно від часу досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння на:

- важкозаймисті – $\tau > 4$ хв;
- середньої займистості – $0,5 \leq \tau \leq 4$ хв;
- легкозаймисті – $\tau < 0,5$ хв.

Метод експериментального визначення температури займання твердих речовин та матеріалів

Суть методу випробувань полягає у внесенні зразків матеріалу масою 3 г у повітряний потік (трубчаста піч) із заданою температурою, періодичному

піднесенні джерела запалювання на відстань 10 мм від їх поверхні та визначенні мінімальної температури, при якій спостерігається їх займання та стійке полум'яне горіння довше 5с. Температурою займання є середнє арифметичне двох температур, що відрізняються не більше ніж на 10⁰С, при одній з яких спостерігається займання трьох зразків, а при другій – три відмови.

Метод експериментального визначення температури самозаймання твердих речовин та матеріалів

Суть методу випробувань полягає у внесенні в робочу камеру зі стаціонарним температурним режимом зразків матеріалу масою 3 г та визначенні мінімальної температури, при якій спостерігається їх самозаймання та стійке полум'яне горіння довше 5 с. Температурою самозаймання є середнє арифметичне двох температур, що відрізняються не більш ніж на 10⁰С, при одній з них спостерігається самозаймання трьох зразків, а при другій – три відмови.

Метод експериментального визначення індексу поширення полум'я

Суть методу випробувань полягає в оцінюванні здатності матеріалу займатися, виділяти тепло та поширювати полум'я поверхнею матеріалу під дією зовнішнього теплового потоку. На зразок, що встановлений під кутом 30⁰ до вертикалі, діє тепловий потік густиною від 12 до 32 кВт·м⁻² від вертикально розміщеної радіаційної панелі. Верхній край зразка запалюють газовим пальником. За результатами випробувань визначають індекс поширення полум'я для п'яти зразків.

Залежно від одержаного індексу поширення полум'я матеріали класифікують як такі, що:

- не поширюють полум'я поверхнею матеріалу (0);
- повільно поширюють полум'я (від 0 до 20 включно);
- швидко поширюють полум'я поверхнею матеріалу (більше 20).

Згідно з ДСТУ В.2.7.-19 – 95 (ГОСТ 30244 – 94) „Матеріали будівельні. Методи випробування на горючість” проводять наступні випробування.

Метод випробування будівельних матеріалів на горючість

Суть методу випробувань на горючість полягає у створенні стабільного температурного режиму в трубчастій печі, введенні зразка в піч та утриманні його до досягнення температурної рівноваги в печі, на поверхні та всередині зразка. Будівельні матеріали відносять до групи негорючих за таких умов:

- середнє арифметичне значення зміни температури в печі не перевищує 50⁰С;
- середнє арифметичне значення втрати маси для 5 зразків не перевищує 50% від їх середнього значення початкової маси;

– середнє арифметичне значення тривалості стійкого горіння 5 зразків не перевищує 10 с.

Метод визначення групи горючості горючих будівельних матеріалів

Суть методу випробувань із визначення групи горючості горючих будівельних матеріалів полягає у введенні одночасно 4 зразків, що закріплені в тримачі, до камери згоряння, дії на зразки полум'я від джерела запалювання з заданими параметрами (фіксована витрата газу та повітря) протягом 10 хв та визначенні таких показників:

- температури димових газів (T);
- тривалості самостійного горіння і (або) тління (τ);
- довжини пошкодження зразків (L);
- маси зразків до та після випробувань (m_1, m_2).

Для кожного матеріалу необхідно проводити три випробування. За результатами випробувань горючі будівельні матеріали залежно від значень параметрів горіння матеріалів поділяють на чотири групи горючості (Г1, Г2, Г3, Г4) відповідно до табл. 1.

Таблиця 1 – Класифікація горючих будівельних матеріалів

Група горючості матеріалів	Температура димових газів, T , $^{\circ}\text{C}$	Ступінь пошкодження за довжиною, S_L , %	Ступінь пошкодження за масою, S_m , %	Тривалість самостійного горіння, τ , с
Г1	≤ 135	≤ 65	≤ 20	0
Г2	≤ 235	≤ 85	≤ 50	≤ 30
Г3	≤ 450	> 85	≤ 50	≤ 300
Г4	> 450	> 85	> 50	> 300

Метод випробування будівельних матеріалів на займистість

Суть методу випробувань із визначення займистості будівельних матеріалів полягає у визначенні параметрів займистості матеріалу при заданих стандартом рівнях впливу на поверхню зразка, променевого теплового потоку та полум'я від джерела запалювання. Рівні впливу променевого теплового потоку повинні знаходитись у межах від 10 до 50 кВт/м².

Для класифікації матеріалів за групами займистості визначають критичну поверхневу щільність теплового потоку (КПГТП) та час займання. КПГТП – мінімальне значення поверхневої густини теплового потоку, при якому виникає горіння, що триває до чергового впливу на зразок полум'я від джерела запалювання.

За результатами випробувань горючі будівельні матеріали залежно від величини КПГТП поділяють на три групи займистості – В1, В2, В3 (табл. 2).

Таблиця 2 – Класифікація горючих будівельних матеріалів за займистістю

Група займистості матеріалу	КПГТП, кВт/м ²
B1	$35 \leq \text{КПГТП}$
B2	$20 \leq \text{КПГТП} < 35$
B3	$\text{КПГТП} < 20$

Метод випробування будівельних матеріалів на розповсюдження полум'я

Суть методу випробувань полягає у визначенні критичної поверхневої густини теплового потоку (КПГТП), величину якого визначають за довжиною поширення полум'я зразком в результаті дії на його поверхню теплового потоку та джерела запалювання.

На початку кожного з п'яти досліджень на зразок, який розташовано горизонтально, протягом 120 с діє тепловий потік від радіаційної панелі, що встановлена під кутом 30⁰ до зразка. Після цього в нульову точку, що розташована по центральній осі зразка, підводять газовий пальник з полум'ям певного розміру, який діє на зразок протягом 600±12 с.

У разі відсутності займання зразка час проведення випробувань 600 с. У випадку займання зразка випробування закінчуються з припиненням полум'яного горіння або через 1800 с шляхом примусового гасіння.

У процесі випробувань фіксуються час до займання та тривалість полум'яного горіння. Після закінчення випробувань проводять вимірювання довжини пошкодженої частини зразка вздовж його центральної осі для кожного з 5 зразків. Величину КПГТП встановлюють на підставі результатів вимірювання довжини поширення полум'я за графіком розподілу ПГТП поверхнею зразка, що будується під час калібрування установки.

За результатами випробувань горючі будівельні матеріали залежно від величини КПГТП поділяють на чотири групи за поширенням полум'я – РП1, РП2, РП3, РП4 (табл. 3).

Таблиця 3 – Класифікація горючих будівельних матеріалів за групами поширення полум'я

Група поширення полум'я	Критична поверхнева густина теплового потоку, кВт/м ²	Довжина поширення полум'я згідно з калібрувальним графіком розподілу ПГТП, L, мм
РП1	11,0 та більше	від 0 до 100
РП2	від 8,0 але менше 11,0	від 100 до 257
РП3	від 5,0 але менше 8,0	від 257 до 410
РП4	менше 5,0	від 410 до 900

Метод експериментального визначення коефіцієнта димоутворення твердих речовин та матеріалів

Суть методу випробувань полягає у визначенні оптичної густини диму, що утворюється під час випробування зразка в камері певного об'єму ($0,664 \text{ м}^3$), в режимі тління та горіння. Під час випробувань на зразок діє тепловий потік густиною $35 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$. Якщо при цьому спостерігається самозаймання зразка (режим тління), то необхідно знизити густину теплового потоку до значення, за якого не відбувається самозаймання зразка.

За коефіцієнтом димоутворення, який визначається як середнє арифметичне результатів п'яти випробувань, розрізняють матеріали з димоутворювальною здатністю, $\text{м}^2/\text{кг}$:

- низькою – $D_m \leq 50$;
- помірною – $50 < D_m \leq 500$;
- високою – $D_m > 500$.

Коефіцієнтом димоутворення є його найбільше значення, що обчислене для двох режимів випробувань.

Згідно з проведеними випробуваннями робиться висновок про можливість і доцільність використання даної пластмаси.

Пожежна безпека будівель і споруд у значній мірі визначається ступенем їх вогнестійкості, що залежить від горючості матеріалів і вогнестійкості основних конструктивних елементів будівель. Тому велике практичне значення має визначення вогнестійкості конструкцій з використанням досліджених матеріалів.

Лабораторна робота № 1

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПОЛІМЕРІВ ЗА ЇХ ПОВЕДІНКОЮ В ПОЛУМ'І

Спостереження за поведінкою полімерів у синьому конусі полум'я пальника є одним із прийомів їх ідентифікації. Уявлення про хімічну природу полімерного матеріалу можна отримати, спостерігаючи за характером його горіння, за кольором та видом полум'я, за запахом продуктів розкладу та їх якісними реакціями.

Мета роботи: встановлення тотожності полімеру з відомими сполуками за достатньою кількістю ознак.

Матеріали та обладнання: зразки полімерів масою 1-3 г; порошковий або гранульований полімерний матеріал масою 0,5-1 г; універсальний лакмусовий папір; дистильована вода; нітрат срібла, газовий пальник; скляна лопатка; прилад для піролітичного розкладу полімерів.

Проведення дослідження

Зразок полімеру помістити на скляну лопатку та внести в полум'я газового пальника. Визначити поведінку матеріалу, колір полум'я, легкість горіння, можливість самостійного затухання, запах та вигляд газів, що виділяються, а також залишок після повного спалювання. Нагрівання необхідно проводити повільно. Якщо полум'я сильне, то надзвичайно швидко настає розклад, що ускладнює спостереження за вищенаведеними явищами.

Полімери, які при спалюванні розкладаються з виділенням ароматичних вуглеводнів, горять жовтим кіптявим полум'ям. Речовини, що при згорянні виділяють аліфатичні вуглеводні, горять полум'ям, яке не копить або слабо копить. Зі зростанням вмісту кисню в полімерах полум'я стає блакитним. Полімери, що містять галогени, утворюють кіптяве полум'я із зеленими краями.

Для визначення запаху газів зразок потримати декілька секунд у полум'ї, потім вийняти та визначити характер запаху. Якщо зразок після вилучення з полум'я продовжує горіти, то його треба загасити і тільки потім визначити запах.

Кислий або лужний характер газів, що виділяються при горінні, можна визначити за допомогою вологого лакмусового паперу або при піролізі полімерів.

Для піролізу 0,5-1 г полімеру покласти в пробірку з термостійкого скла, що з'єднана з пробіркою для поглинання газів, в яку налито 5-10 мл дистильованої води. Швидко нагріти зразок полімеру на полум'ї газового пальника та уловити продукти піролізу. Після закінчення розкладу полімеру

стілки пробірки для поглинання газів промити водою та визначити реакцію розчину (лужна, кисла), користуючись лакмусовим папером. Визначити наявність у розчині іонів хлору реакцією з нітратом срібла. Помутніння розчину або поява білого осаду хлориду срібла говорить про наявність хлору в полімерному матеріалі.

Характеристика полімерів за цими ознаками надається в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Ідентифікація полімерів за поведінкою в полум'ї та за продуктами пролізу

Поведінка в полум'ї	Характеристика полум'я	Запах	Реакція продуктів розкладу	Полімер
1	2	3	4	5
Полімери, що містять галогени				
Загоряється важко, горить, при видаленні з полум'я гасне	Кіптяве, з зеленою каймою	Різкий, хлористого водню	Кисла	Полівінілхлорид
– // –	– // –	Гіацинту	– // –	Сополімери вінілхлориду з вініліденхлоридом
– // –	– // –	Різкий, хлористого водню	– // –	Полівініліденхлорид
Загоряється дуже важко, горить сухо, розтріскується, на повітрі не горить	Жовте, з сірим димом	Фтороводню	Кисла	Політетрафторетилен (фторопласт)
Полімери, що містять азот				
Загоряється важко	Біле	Риби, формальдегіду	Лужна	Меламіноформальдегід
Обвуглюється, по краях білий наліт, іноді розтріскується	Біле	Аміаку, формальдегіду	– // –	Мочевиноформальдегід
Горить, продовжує горіти після видалення з полум'я	Синювате, з жовтими краями	Паленого рога	– // –	Поліамід
– // –	– // –	Гірського мигдалю, різкий	– // –	Поліуретан

Полімери, що не містять хлору та азоту				
Плавиться, горить, продовжує горіти після видалення з полум'я	Світиться, всередині забарвлене в синій колір	Парафіну, що горить	Майже нейтральна	Поліетилен
— // —	— // —	— // —	— // —	Поліпропілен
— // —	Кіптяве	Ізобутилену	— // —	Поліізобутилен
— // —	Жовтогаряче, яскраве, кіптяве	Квітковий, солодкуватий	— // —	Полістирол
— // —	Яскраве, кіптяве	Різкий запах скипидару	Нейтральна	Натуральний каучук
Досить важко загоряється, продовжує горіти після видалення з полум'я, зразок розбухає і стає коричневим	Жовте, сірий дим	Гострий, жиру та риби	Кисла	Полівініловий спирт
Загоряється легко, горить після видалення з полум'я	Світне, трохи кіптяве	Квітковий	Кисла	Поліметил-метакрилат (органічне скло)
— // —	Світне, синювате	Гострий	— // —	Поліакрилат
— // —	Світне	Оцтової кислоти	— // —	Полівініл-ацетат
— // —	Яскраве	Солодкуватий	— // —	Поліефір
— // —	Кіптяве	Фенольний, слабкий	—	Полікарбонат
Загоряється важко, затухає після видалення з полум'я	Жовте, кіптяве	Фенолу і формальдегіду	Майже нейтральна	Феноло-формальдегід
Плавиться, продовжує горіти після видалення з полум'я	З жовто-зеленою каймою та іскрами	Оцтової кислоти, паленого паперу	Кисла	Ацетил-целюлоза
— // —	Жовто-біле, яскраве, іскристе	Масляної кислоти, паленого паперу	— // —	Ацетобутират целюлози

Оформлення результатів роботи

Результати спостережень занести в таблицю та, користуючись табл.1.1, визначити природу полімеру за його поведінкою в полум'ї.

№ зразка	Поведінка в полум'ї	Характеристика полум'я	Запах	Реакція продуктів розкладу	Полімер

Питання для самоперевірки

1. За якими ознаками можна ідентифікувати термопласти?
2. За якими ознаками можна ідентифікувати реактопласти?
3. Які особливості горіння поліпропілену, поліамідів, поліуретанів?
4. За якими ознаками можна ідентифікувати полістирол та пінополістирол?

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗЧИННОСТІ ПОЛІМЕРІВ

Під дією розчинника полімер може не розчинятися, набрякати або повністю розчинятися. Під час розчинення полімерів відбуваються такі процеси:

- дифузія молекул розчинника в полімерну матрицю;
- сольватація молекул розчинника на активних центрах макромолекул;
- розпад надмолекулярних структур внаслідок сольватації та послаблення міжмолекулярної взаємодії;
- відокремлення найбільш сольватованих макромолекул від поверхні набряклого полімеру, дифузія сольватованих макромолекул у розчин.

Особливістю процесу розчинення полімеру є те, що на першій стадії розчинення він набрякає. При взаємодії полімеру з низькомолекулярною рідиною її молекули починають швидко проникати у фазу полімеру, а макромолекули за цей час не встигають перейти у фазу розчинника. Під час набрякання молекули розчинника проникають між елементами надмолекулярної структури полімеру, викликаючи міжструктурне набрякання, або в середину структур, розширюючи макромолекули (внутрішньоструктурне набрякання). Отже, **набрякання** – це процес поглинання полімером низькомолекулярної рідини, що супроводжується збільшенням об'єму полімеру та зміною структури його макромолекул.

Проникнення розчинника в полімер швидше відбувається в областях, що мають більш пухку структуру упаковки макромолекул, за механізмом капілярного всмоктування. Одночасно відбувається повільна дифузія розчинника в надмолекулярні утворення. Набрякання не завжди закінчується розчиненням. Після досягнення деякого ступеня набрякання, процес припиняється. Однією з причин цього явища є обмежене змішування полімеру і розчинника (“поганий” розчинник для даного полімеру), другою – існування між молекулами полімеру поперечних хімічних зв’язків.

Розчинність полімерів залежить від хімічної будови ланцюга полімеру, її гнучкості, молекулярної маси полімеру, густини упаковки макромолекул у полімері та фазового стану полімеру.

Досить легко розчиняються в розчинниках полімери, що мають лінійну або розгалужену структуру макромолекул. Наявність у макромолекулах полімерів різних функціональних груп та гетероатомів (гідроксильних, карбоксильних, аміних, ацетатних, атомів галогенів, сірки та ін.) може уповільнити або прискорити процес розчинення.

Розчинність полімерів погіршується зі зменшенням гнучкості ланцюгів макромолекул та ступеню кристалічності. Аморфні полімери розчиняються набагато легше, ніж кристалічні. Кристалічні полімери, зазвичай, розчиняються при температурі, близькій до температури їх плавлення. Полімери, що мають сітчасту структуру макромолекул, обмежено набрякають в розчинниках і не можуть повністю розчинитися без розриву хімічних зв’язків.

Мета роботи: ознайомитися з фізико-хімічними властивостями полімерів, їх поведінкою в різноманітних розчинниках, кислотах та лугах.

Матеріали та обладнання: пробірки; водяна баня; газовий пальник; зразки полімерного матеріалу; розчинники; зворотний холодильник.

Проведення дослідження

У пробірку помістити небагато (декілька зернинок або гранул) полімеру, додати 1–2 мл розчинника та залишити її при кімнатній температурі на 30–40 хв, періодично струшуючи. Потім відмітити зміни, що відбуваються в пробірці.

У разі часткового розчинення або набрякання полімеру слід перевірити його розчинність при підвищеній температурі. Для цього пробірку з дослідною сумішшю з’єднати зі зворотним холодильником та нагріти на водяній бані протягом 30 хв. Відмітити зміни.

Оформлення результатів роботи

Результати спостережень занести в таблицю, використовуючи умовні позначення: (+) – полімер розчиняється; (±) – полімер розчиняється при нагріванні; (–) – полімер не розчиняється; (х) – полімер набрякає.

Розчинник	вода	спирт ізопропіловий	ацетон	гептан	толуол	дихлоретан	ДМФА (диметилформамід)	H ₂ SO ₄ (20%)	NaOH (20%)
Полімер									
Поліетилен									
Полівінілхлорид									
Полістирол									
Полівініловий спирт									
Поліметил-метакрилат (ПММА)									
Перхлорвініл (ПХВ)									
Епоксидний полімер									
Поліамід									

Питання для самоперевірки

1. Чим відрізняються розчини полімерів від розчинів низькомолекулярних сполук?
2. Які особливості розчинення характерні тільки для полімерів?
3. Порівняйте поліетилен, полівінілхлорид, полістирол, полівінілацетат за розчинністю у воді та органічних розчинниках.
4. Яким методом визначається хімічна стійкість полімерів?

5. Які полімери характеризуються більшою стійкістю до дії води, неорганічних кислот, лугів, органічних розчинників?

Лабораторна робота 3

ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПЛАСТМАС

Хімічна стійкість пластмас достатньо висока, що обумовлено їх хімічною будовою. Деякі пластмаси та домішки, наприклад пластифікатори, здатні набрякати або розчинятися в подібних їм за будовою органічних розчинниках. Термопластичні полімери чуттєві до дії низькомолекулярних речовин, що мають з ними певну хімічну totoжність, та більш стійкі до дії кислот та лугів. Реактопласти, навпаки, мають підвищену стійкість до дії органічних розчинників.

Суть методу визначення хімічної стійкості полягає у визначенні зміни маси, лінійних розмірів та фізико-хімічних властивостей стандартних зразків пластмас після витримки їх протягом певного часу в хімічних реагентах.

Мета роботи: визначення хімічної стійкості зразків полімерних матеріалів до дії різних хімічних реагентів.

Матеріали та обладнання: полімерні диски діаметром 50 мм і товщиною 3 мм; дистильована вода; 10%-ний розчин гідроксиду натрію; 10%-ний розчин сірчаної кислоти; 10%-ний розчин соляної кислоти; 10%-ний розчин хлориду натрію, ексикатори; скляні стакани ємністю 500-1000 мл; аналітичні терези; штангенциркуль; тканина або фільтрувальний папір для обтирання зразків.

Проведення дослідження

Зразки полімерних матеріалів зважити на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г, заміряти їх діаметр і товщину. На кожне випробування взяти по 5 зразків.

Ексикатори або скляні стакани заповнити хімічними реагентами. Хімічні реагенти заливати з розрахунку 8 мл на кожний квадратний сантиметр повної поверхні полімерного зразка.

Температура випробувань – 23-25°C.

Тривалість випробувань вибрати з ряду: короткострокові – 24 год; стандартні – 7 діб; тривалі випробування – 16 тижнів.

Порядок виконання роботи

Помістити полімерні зразки в ексикатори або скляні стакани, що заповнені хімічними реагентами, таким чином, щоб вони не торкалися

поверхнями один одного. Витримати зразки у відповідних реагентах за вибраним режимом випробувань (температура та тривалість випробувань).

Після закінчення випробувань зразки полімерних матеріалів промити дистильованою водою, висушити за допомогою тканини або фільтрувального паперу, зважити на аналітичних терезах та визначити їх лінійні розміри.

Обробка результатів

Розрахувати зміну маси зразка полімерного матеріалу Δm (%):

$$\Delta m = (m_1 - m_0) \cdot 100 / m_0,$$

де m_0 – маса зразка до занурення в хімічний реагент, г;

m_1 – маса зразка після витримки в хімічному реагенті, г.

Зміну лінійного розміру зразка Δl (%) розрахувати за формулою:

$$\Delta l = (l_1 - l_0) \cdot 100 / l_0,$$

де l_0 – діаметр або товщина зразка до занурення в хімічний реагент, мм;

l_1 – діаметр або товщина зразка після витримки в хімічному реагенті, мм.

Побудувати графік зміни маси зразка Δm (%) у часі τ (с) та визначити час τ_0 , протягом якого відбулося збільшення маси до $\Delta m_{\max} / 2$.

Розрахувати коефіцієнт дифузії хімічного реагенту D (см²/с):

$$D = 0,0494\delta^2/\tau_0,$$

де δ – товщина зразка, см.

Розрахувати коефіцієнт сорбції хімічного реагенту S (г/см³):

$$S = m_p / V_{\max},$$

де m_p – маса хімічного реагенту, що увібрана зразком полімерного матеріалу, г;

V_{\max} – об'єм зразка полімерного матеріалу після закінчення випробувань, см³;

$$m_p = m_{\max} - m;$$

$$V_{\max} = \pi d^2 \delta / 4,$$

де d – діаметр диску, см;

δ – товщина диску, см.

Коефіцієнт проникнення хімічного реагенту в зразок полімерного матеріалу P (г·см/см²·с) розрахувати за формулою:

$$P = DS,$$

де D – коефіцієнт дифузії, $\text{см}^2/\text{с}$;
 S – коефіцієнт сорбції, $\text{г}/\text{см}^3$.

Оцінити стійкість пластмас до дії хімічних реагентів, користуючись табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Якісна оцінка хімічної стійкості пластмас

Тип пластмаси	Зміна показника, %	Оцінка стійкості
Термопласти	від 0 до 10 вища 10 до 15 вища за 15	добра задовільна погана
Реактопласти	від 0 до 15 вища за 15 до 25 вища за 25	добра задовільна погана

Результати випробувань занести в таблицю.

№ з/п	Полімер	Маса зразка до випробувань, m , г	Маса зразка після випробувань, m_1 , г	Зміна маси зразка, Δm , %	Коефіцієнт дифузії, D , $\text{см}^2/\text{с}$	Хімічна стійкість

Питання для самоперевірки

1. У чому суть методу визначення хімічної стійкості пластмас?
2. Як проводять якісну оцінку стійкості пластмас до дії хімічних реагентів?
3. Які критерії використовуються для якісної оцінки стійкості пластмас до дії хімічних реагентів?

Лабораторна робота 4

ВИЗНАЧЕННЯ ГРУПИ ГОРЮЧОСТІ ПОЛІМЕРНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета роботи: визначення групи горючості полімерних будівельних матеріалів методом “вогняної труби”.

Метод “вогняної труби” є експрес-методом для визначення групи негорючих твердих матеріалів. Прилад (рис.4.2) складається з вертикально розташованої труби діаметром 50 мм, висотою 165 мм, що виготовлена зі сталі товщиною 0,3-0,5 мм. Трубу закріплено на штативі. Вона має тримач зразка з гачком, а також оглядове дзеркало та газовий пальник діаметром 7 мм.

Матеріали та обладнання: зразки полімерних матеріалів, прилад “вогняна труба”; секундомір; терези.

Зразки полімерних матеріалів:

1. Матеріали, що мають малу товщину (листи або плівки) та скручуються під час горіння, необхідно закріпити дротом на рамці (рис.4.1).

2. Якщо матеріал під дією полум'я плавиться, то його треба вставити між двома пластинками склотканини ($340 \times 40 \times 0,1$ мм), що складена навпіл (рис.4.2).

3. Сипучі матеріали треба досліджувати в кошику або в латунній сітці, яка має розміри вічок, що перешкоджають висипанню матеріалу.

4. Монолітні матеріали, що мають товщину до 10 мм, треба брати натуральної товщини. Із матеріалів, що мають більшу товщину, вирізати зразки товщиною 10 мм і розмірами 45×155 мм.

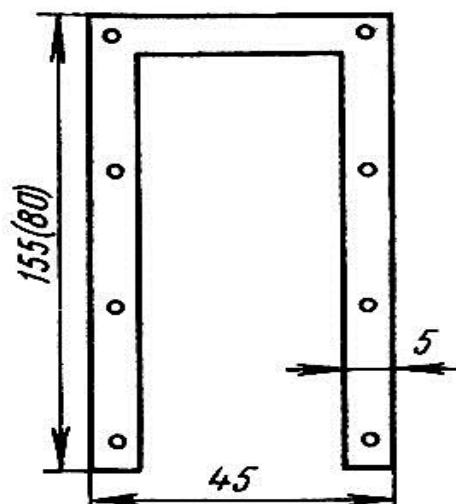


Рисунок 4.1 – Рамка для кріплення тонких зразків

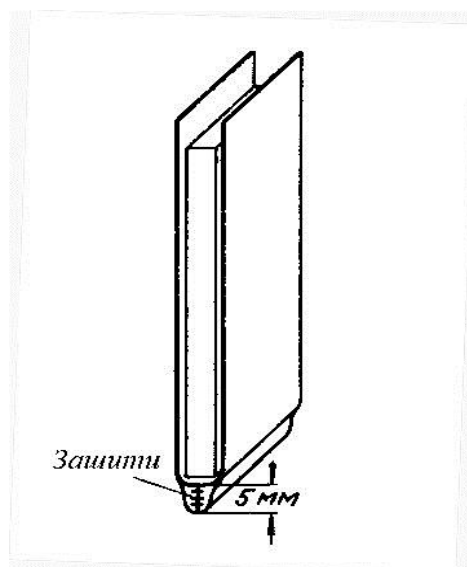
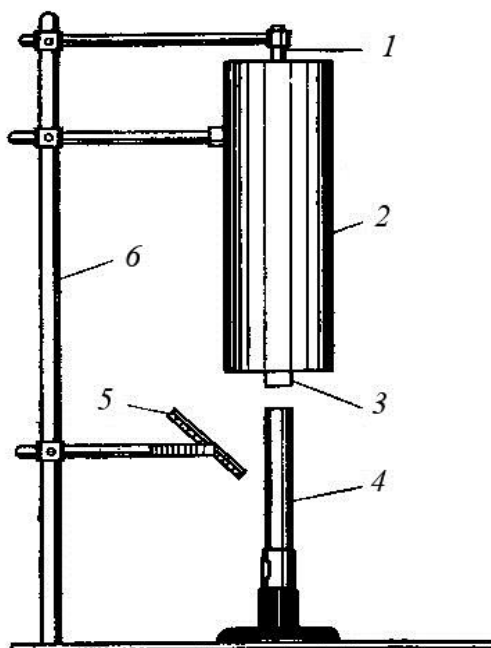


Рисунок 4.2 – Схема розташування зразка в склотканині



1 – металева труба; 2 – тримач зразка; 3 – зразок; 4 – газовий пальник;
5 – оглядове дзеркало; 6 – штатив

Рисунок 4.3 – Прилад “вогняна труба”

Підготовка до випробувань

1. Підготувати 6 зразків полімерного матеріалу.
2. Зразки зважити з точністю до 0,01 г. Якщо зразок необхідно розмістити в кошику або між шарами склотканини, то виміряти його чисту вагу (без маси кошика або склотканини).
3. Один зразок підвесити вертикально в центрі труби таким чином, щоб нижній кінець його виступав з труби на 5 мм та знаходився на 10 мм вище пальника.

Якщо проводяться випробування токсичних речовин або матеріалів, під час термічного розкладу яких виділяються токсичні пари і гази, то прилад необхідно встановити у витяжній шафі, де відсутній помітний рух повітря. Оглядове дзеркало розташувати так, щоб увесь зразок було видно.

Проведення дослідження

Запалити пальник та виставити висоту полум'я 40 мм. Потім пальник підвести до зразка таким чином, щоб полум'я діяло на середину нижнього краю зразка. Одночасно увімкнути секундомір.

Після дії полум'я пальника протягом 2 хв джерело полум'я прибрати та визначити час самостійного горіння і тління полімерного зразка. Потім зразок остудити до кімнатної температури та знову зважити. Визначити втрату маси у відсотках від маси вихідного зразка.

Аналогічно випробувати інші 5 зразків. Якщо самостійне полум'яне горіння або тління продовжується довше ніж 60 с та втрата маси перевищує 20%, то дослідний матеріал слід віднести до горючих.

Якщо втрата маси становить менше 20% і час самостійного горіння не перевищує 60 с, то матеріал вважати негорючим.

Оформлення результатів

Визначити втрату маси зразка за формулою:

$$X = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

де m_0 – початкова маса зразка, г;

m_1 – маса зразка після випробування, г.

Користуючись табл.4.1 визначити групу горючості полімерного будівельного матеріалу. Результати випробувань занести в таблицю.

Матеріал	№ зразка	Час самостійного горіння зразка, с	Маса зразка		Втрата маси, X, %	Група горючості
			початкова m_0 , Г	кінцева, m_1 , Г		

Питання для самоперевірки

1. Якими нормативними документами визначаються методи дослідження полімерних матеріалів для визначення їх пожежної небезпеки?
2. У чому суть методу визначення групи негорючих полімерних матеріалів?
3. Як класифікуються негорючі полімерні матеріали?

Лабораторна робота 5

ВИЗНАЧЕННЯ ГОРЮЧОСТІ ПОЛІМЕРІВ ЗА КИСНЕВИМ ІНДЕКСОМ

Кисневий індекс (КІ) є одним з показників, що характеризує горючість твердих матеріалів. Його визначають як мінімальну концентрацію кисню в киснево-азотній суміші, у потоці якої спостерігається самостійне горіння протягом 3 хв вертикально розташованого зразка матеріалу, що був запалений із верхнього кінця, або за короткий час зразок згоряє на висоту 50 мм.

Точних методів розрахунку кисневого індексу не існує, тому його визначають експериментально методом спроб, спостерігаючи за поведінкою зразка, що горить у потоці газу з постійною концентрацією кисню.

Кисневий індекс дуже чутливий до зміни горючості матеріалу, тому, не зважаючи на умовний характер, даний метод широко використовується як експрес-метод контролю горючості твердих полімерних матеріалів, а також при розробці матеріалів зі зниженою горючістю для порівняльної оцінки горючості різних матеріалів.

Умови пожежної безпеки при використанні поняття кисневого індексу формулюються таким чином:

$$KI \geq [KI]_д, \quad (5.1)$$

де KI – кисневий індекс матеріалу, %;

$[KI]_д$ – допустиме значення кисневого індексу, що забезпечує пожежну безпеку та визначається за результатами повномасштабних випробувань для оцінки горючості даного матеріалу.

Матеріали та обладнання: зразки полімерних матеріалів, прилад для визначення кисневого індексу; секундомір; газовий пальник; пристосування для видалення сажі та диму.

Прилад для визначення кисневого індексу (рис.5.1) складається з наступних елементів.

1. Реакційна колонка – термостійка прозора труба з внутрішнім діаметром не меншим 70 мм та висотою не меншою 450 мм, яку встановлено вертикально на основі.

На дні камери розташоване пристосування для рівномірного розподілу газової суміші, яке складається, наприклад, зі скляних або металевих кульок діаметром 3-5 мм, що розміщені шаром висотою 80-100 мм.

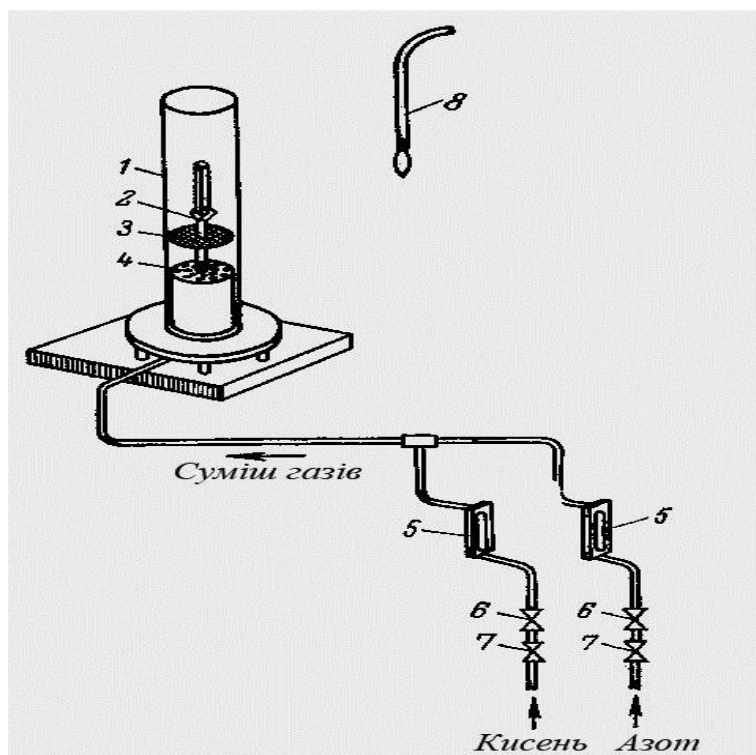
Над кульками знаходиться металеве сито з розміром вічок 1,0-1,6 мм для затримки падаючих часточок матеріалу.

2. Тримач зразка для закріплення його у вертикальному положенні в трубі. Для жорстких зразків використовуються маленькі кліщі, що закріплюють зразок на відстані 15 мм від найнижчої точки зразка.

3. Балони з газоподібним киснем та азотом.

4. Система змішування та регулювання газів для подання їх у реакційну камеру.

5. Пристосування для виміру витрат та контролю концентрації кисню та азоту в газовій суміші – градуйовані ротаметри.



1 – колонка; 2 – тримач зразка; 3 – металеве сито; 4 – скляні кульки;
 5 – ротаметри; 6 – вентилі точного регулювання; 7 – вентилі грубого
 регулювання;
 8 – газовий пальник

Рисунок 5.1 – Прилад для визначення кисневого індексу

Перевірку вірності роботи прикладу контролюють, використовуючи дані для стандартних матеріалів (табл.5.1).

Таблиця 5.1 – Значення КІ для деяких полімерів

Матеріал	Кисневий індекс, %
Поліпропілен	Від 18,3 до 19,0
Меламіно-формальдегідний полімер	» 41,0 » 43,6
Поліметилметакрилат (товщиною 3 мм)	» 17,3 » 18,1
Полі метилметакрилат (товщиною 10 мм)	» 17,9 » 19,0
Фенольна піна (товщиною 10,5 мм)	» 39,1 » 40,7
ПВХ – плівка (товщиною 0,02 мм)	» 22,4 » 23,6

Підготовка зразків

Для випробувань приготувати 10 зразків згідно даних табл.5.2. Краї зразків повинні бути гладкими. Зразки повинні бути однорідними, не мати побічних включень, тріщин, раковин, здуття і зазублин.

Таблиця 5.2 – Розміри зразків полімерів для визначення КІ

Тип зразка	Розмір зразка, мм			Матеріал
	довжина	ширина	товщина	
1	80÷150	10,0±0,5	4,00±0,25	Матеріали, що мають стабільну форму
2			10,0±0,5	Пористі матеріали
3			До 10,5	Листові та плівкові матеріали
4	70-150	6,5±0,5	3,00±0,25	Матеріали, що мають стабільну форму, або листові матеріали для електротехнічних приладів

На кожен зразок нанести поперечні лінії (мітки) на обидві сторони на відстані 50 мм від краю зразка, що контактує з джерелом запалювання.

Проведення дослідження

Початкову концентрацію кисню вибрати на основі досвіду роботи з аналогічними матеріалами, або один з приготованих зразків спалити на повітрі, спостерігаючи за процесом горіння. Виставити початкову концентрацію кисню:

- близько 18% об., якщо зразок горить швидко;
- близько 21% об., якщо зразок горить повільно або нерівномірно;
- не менше 25% об., якщо зразок затухає.

1. Зразок розмістити в тримачі у вертикальному положенні в центрі колонки так, щоб верхній край зразка знаходився на відстані 100 мм від верхнього краю колонки.

2. Користуючись регулюючими вентилями виставити необхідну концентрацію кисню в азотно-кисневій суміші таким чином, щоб газовий потік у колоні при температурі $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ мав швидкість 40 ± 10 мм/с.

Систему на початку вимірювання продути газовою сумішшю протягом 30 с; підтримувати постійну концентрацію кисню до кінця випробувань.

3. Піднести полум'я пальника до верхньої горизонтальної поверхні зразка, повільно переміщуючи його так, щоб полум'я вкрило її повністю і не торкалося вертикальних поверхонь зразка. Час дії полум'я на зразок становить 30 с з короткими перервами через кожні 5 с. Якщо після відводу пальника через 5 с уся його верхня частина горить, вважають, що зразок зайнявся.

Після займання зразка ввімкнути секундомір та спостерігати за процесом горіння.

4. Якщо зразок горить після займання довше 180 с або за менший час довжина частини зразка, що згоріла, перевищує 50 мм, то дослід треба припинити, замінити зразок, охолодити колонку до кімнатної температури та повторити дослідження, виставивши меншу концентрацію кисню в газовій суміші, що проходить крізь колонку.

5. У ході досліду відзначити процеси, що супроводжують горіння, наприклад, падіння часток матеріалу, обвуглювання, нерівномірне горіння, тління.

У разі необхідності очистити поверхню пальника та камери, сито і пристосування для рівномірного розподілу газової суміші.

Оформлення результатів

Кисневий індекс полімерного матеріалу визначити як мінімальну концентрацію кисню в суміші його з азотом, коли спостерігається самостійне горіння зразка протягом 180 ± 3 с, або за час менший 180 ± 3 с зразок згоряє на довжину 50 мм.

Результати випробувань занести в таблицю.

Матеріал	№ зразка	Концентрація кисню в газовій суміші, % об.	Час самостійного горіння, с	Довжина частини зразка, що згоріла, мм	Кисневий індекс, КІ, %

Полімерні матеріали, що мають кисневий індекс до 25%, відносяться до горючих, 26-32% – «самозатухаючих», 33-50% – важкогорючих, 50-95% – негорючих.

Питання для самоперевірки

1. У чому суть методу визначення горючості полімерних матеріалів за кисневим індексом?
2. Як класифікують полімери за кисневим індексом?
3. Які зразки необхідно виготовити для проведення досліджень по визначенню кисневого індексу?
4. В яких випадках обов'язково визначається кисневий індекс полімерного матеріалу?

Лабораторна робота 6

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ, САМОЗАЙМАННЯ ТА ТЛІННЯ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ

Прилади та обладнання: прилад для визначення температури займання ОТП; секундомір; дзеркало для спостереження.

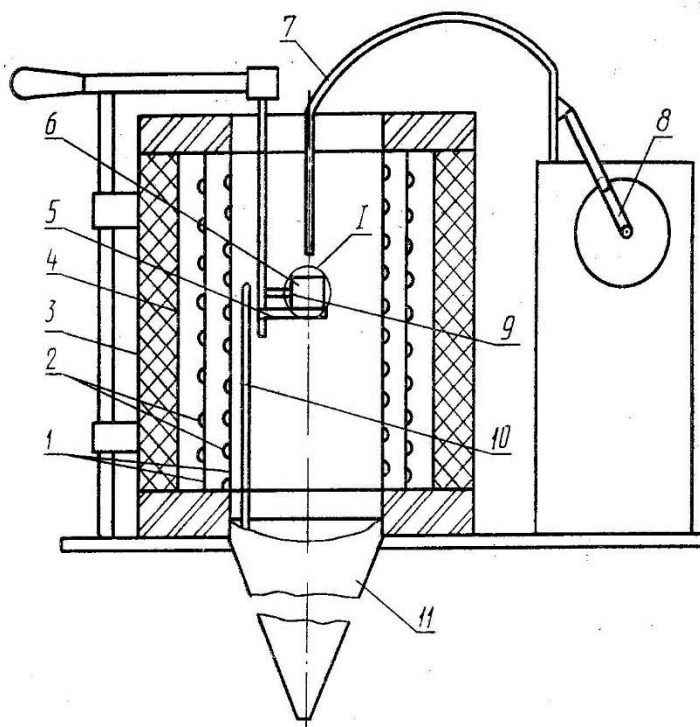
Прилад ОТП (рис.6.1) є вертикальною електропіччю із двома коаксиально розташованими циліндрами, що виготовлені з кварцового скла. Один з циліндрів, що має внутрішній діаметр 80 ± 3 мм та висоту 240 мм, являється реакційною камерою; другий циліндр, однакової з першим висоти, має внутрішній діаметр 101 ± 3 мм (1). На циліндри накручені спіральні електронагрівники з загальною напругою до 2 кВт, що дозволяє створювати температуру в робочій зоні 600°C за 40 хв.

Для розміщення зразка матеріалу використовують сталевий контейнер 6, що встановлюють у кільце тримача 5.

Газовий пальник для запалювання зразка 7 має форму трубки, що запаяна знизу та зверху, на боковій поверхні якої розташовано отвір діаметром 0,8 мм.

Ламінатор 11, що виконаний з листової жаростійкої сталі у формі конуса, використовується для подачі потоку повітря в реакційну камеру.

Термоелектричний перетворювач 9, що необхідний для вимірювання температури зразка, розміщений таким чином, щоб забезпечувався контакт із дном та стінкою контейнера. Термоелектричний перетворювач 10 використовується для контролю та регулювання температури в печі. Похибка вимірювання приладів, що регулюють та реєструють температуру, не повинна перевищувати 0,5%.



- 1 – скляні циліндри; 2 – спіральні електро-нагрівачі;
 3 – теплоізоляційний матеріал; 4 – сталевий екран; 5 – тримач зразка;
 6 – контейнер; 7 – газовий пальник; 8 – електропривод пальника;
 9, 10 – термоелектричні перетворювачі; 11 – ламінатор

Рисунок 6.1 – Прилад ОТП

6.1 Визначення температури займання

Підготовка до випробування

1. Для дослідження приготувати 10-15 зразків матеріалу вагою $3 \pm 0,1$ г. Зразки пористих матеріалів повинні мати циліндричну форму діаметром 45 ± 1 мм. Плівчасті та листові матеріали набрати в циліндр діаметром 45 ± 1 мм, накладаючи шари один на один до досягнення відповідної ваги.

2. Залежно від об'єму зразка зафіксувати положення контейнера в камері, враховуючи відстань між газовим пальником та поверхнею зразка.

3. Готовність приладу до роботи перевірити за стандартним зразком – органічним склом, температура загоряння якого дорівнює 265 ± 10^0 С.

Проведення дослідження

1. Нагріти реакційну камеру до температури початку розкладу дослідного матеріалу або до 300^0 С.

2. Регулюючи подачу газу та повітря в пальник, сформувати полум'я газового пальника у вигляді клину довжиною 10 ± 2 мм.

3. Вилучити з камери тримач з контейнером. У контейнер покласти зразок та ввести його в реакційну камеру. Електропровід газового пальника ввімкнути в заданому режимі роботи. Періодичність підводу газового пальника до зразка на відстань 10 ± 1 мм від його поверхні повинна становити 10 ± 2 с. Спостерігати за поведінкою зразка в робочій камері за допомогою дзеркала.

4. Якщо при температурі дослідження зразок займається, то вимірювання треба припинити. Пальник розмістити в положенні „за камерою”, контейнер зі зразком вилучити з камери. Позначити в таблиці температуру займання. Наступний дослід проводити з новим зразком при меншій температурі (наприклад, на 50°C).

Якщо протягом 20 хв зразок не займається або ще раніше повністю припиняється виділення диму, то дослід припинити і відмітити відмову.

Температуру дослідження визначати за показниками термоелектричного перетворювача, що вимірює температуру зразка.

5. Методом послідовних наближень, використовуючи нові зразки та вимірюючи температуру дослідів, визначити мінімальну температуру зразка, за якої зразок, що знаходиться в печі не більше 20 хв, займається та горить довше 5с після видалення пальника, а при температурі меншій на 10°C займання відсутнє.

Оформлення результатів

Температурою займання дослідного матеріалу є середнє арифметичне значення двох температур, що відрізняються не більш ніж на 10°C , при одній з яких спостерігається займання 3-х зразків, а при іншій – три відмови. Одержане значення температури округлити з точністю до 5°C .

Результати дослідження занести в таблицю.

Номер зразка	Температура дослідження, $^{\circ}\text{C}$	Результат дослідження	Температура займання, $^{\circ}\text{C}$

6.2 Визначення температури самозаймання

Проведення дослідження

1. Нагріти робочу камеру до температури, що на 200°C перевищує температуру початку розкладу дослідного матеріалу, або до 500°C .

2. Після встановлення в робочій камері стаціонарного температурного режиму, вилучити з камери контейнер, розмістити в ньому зразок та

опустити його в середину камери. Спостерігати за зразком за допомогою дзеркала.

3. Якщо при заданій температурі досліду спостерігається самозаймання, то наступний дослід проводити при меншій температурі (наприклад, на 50⁰С).

Якщо протягом 20 хв або до моменту повного припинення виділення диму самозаймання не спостерігається, то дослідження зупинити і в таблиці відмітити відмову.

4. Методом послідовних наближень визначити мінімальну температуру робочої камери, за якої зразок займається самостійно та горить більше 5 с, а при температурі меншій на 10⁰С спостерігається відмова.

Оформлення результатів

Температура самозаймання дослідного матеріалу – це середнє арифметичне значення двох температур, що відрізняються не більш ніж на 10⁰С, при одній з яких спостерігається самозаймання 3-х зразків, а при іншій – три відмови. Одержане значення температури округлити з точністю до 5⁰С. Результати дослідження занести в таблицю.

Номер зразка	Температура дослідження, ⁰ С	Результат дослідження	Температура самозаймання, ⁰ С

6.3 Визначення температури тління полімерних матеріалів

Підготовка до випробування

Для досліджень приготувати 10-15 зразків матеріалу масою 3±0,1 г. Зразки пористих матеріалів повинні мати циліндричну форму діаметром 45±1 мм. Плівкові та листові матеріали треба набрати шарами до досягнення висоти 45±1 мм.

Проведення дослідження

1. Нагріти реакційну камеру до температури початку розкладу матеріалу або до 300⁰С.

2. Вивести з реакційної камери тримач з контейнером. За 15 с розташувати зразок у контейнері та ввести його в реакційну камеру. Опустити всередину реакційної камери пальник.

3. Якщо при даній температурі зразок тліє (спостерігається світіння) довше 5 с, то дослід треба припинити, контейнер вивести з камери та звільнити від продуктів тління. Наступний дослід проводити при нижчій температурі (наприклад, на 50⁰С).

Якщо протягом 20 хв зразок не тліє, то дослід припинити і дану температуру зазначити як відмову. Методом послідовних наближень визначити мінімальну температуру, за якої спостерігається тління зразка, що знаходиться в печі не довше 20 хв, а при температурі, яка на 10⁰С нижча, тління відсутнє.

Оформлення результатів

Температура тління – це середнє арифметичне значення двох температур, що різняться не більше ніж на 10⁰С, при одній з яких спостерігається тління трьох зразків, а при іншій – три відмови. Значення температури округлити до 5⁰С. Результати дослідження занести в таблицю.

Номер зразка	Температура дослідження, ⁰ С	Результат дослідження	Температура тління, ⁰ С

Питання для самоперевірки

1. Яким методом визначається температура займання полімерних матеріалів?
2. Яким методом визначається температура самозаймання полімерних будівельних матеріалів?
3. Яким методом визначається температура тління полімерних матеріалів?
4. Які нормативні документи діють зараз в Україні для оцінки пожежної небезпеки будівельних матеріалів? Які методи обов'язкові для визначення пожежної небезпеки будівельних матеріалів?
5. Як за горючістю, займанням, димоутворювальною здатністю, розповсюдженням полум'я, токсичністю класифікують будівельні матеріали в Україні згідно нормативних документів?

Лабораторна робота 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПОЛІМЕРІВ РОЗПЕЧЕНИМ ДРОТОМ

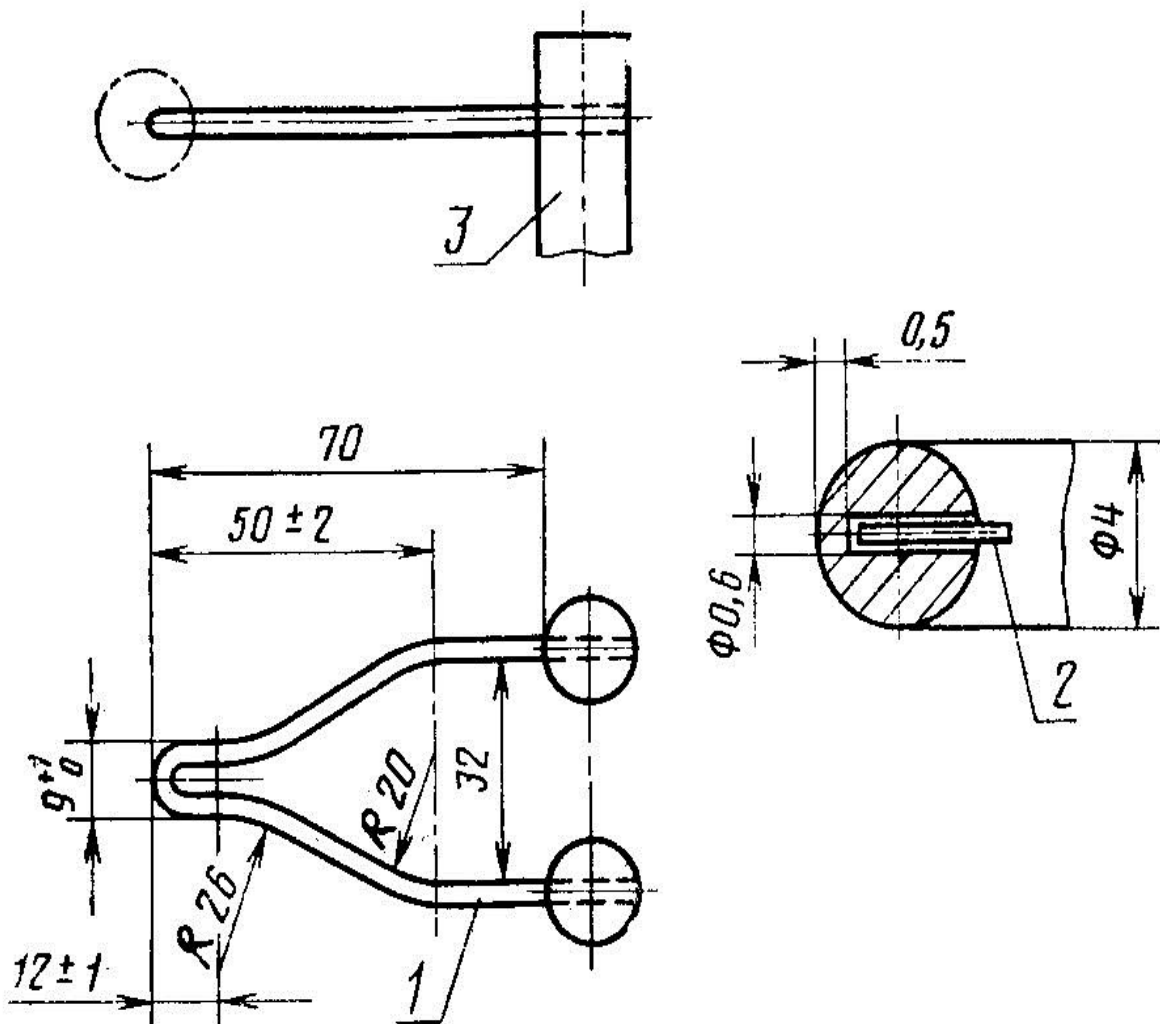
Метод випробування розпеченим дротом використовується для визначення пожежної небезпеки електротехнічних виробів та їх компонентів.

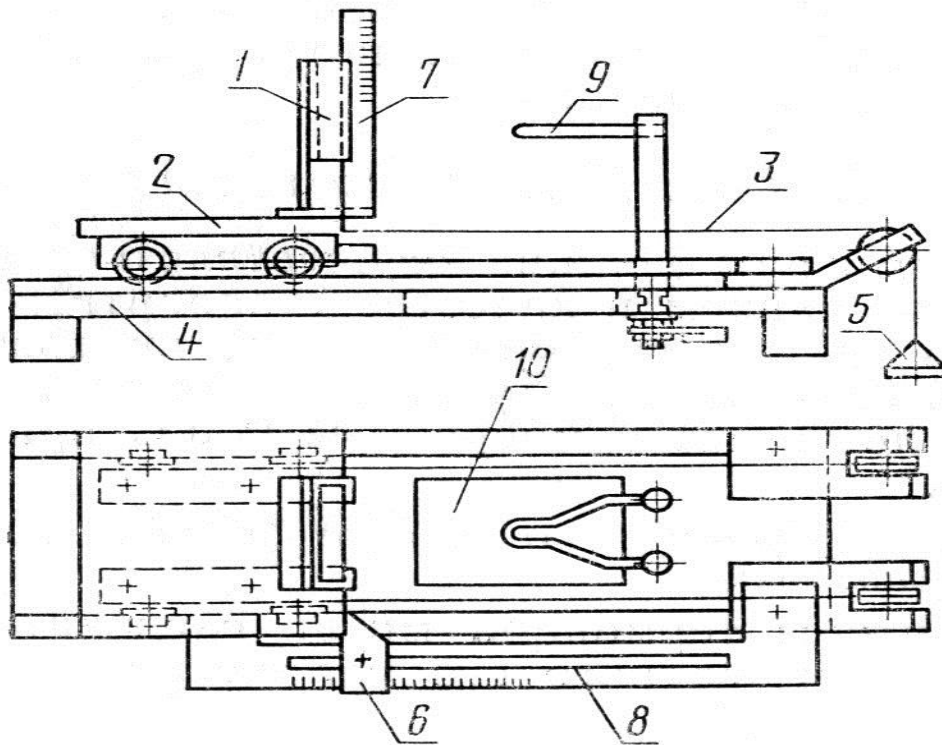
Блоки та елементи електротехнічного обладнання в аварійних умовах або в умовах перевантаження можуть у результаті перегріву викликати запалення горючих частин обладнання, що розташовані поруч. Випробування розпеченим дротом дозволяє моделювати теплові перевантаження, причиною

яких можуть бути такі джерела тепла або запалення, як елементи накаливання або перевантажені резистори.

Прилади та обладнання: пристрій для випробувань розпеченим дротом (рис.7.1); полімерні зразки; плита з білої сосни товщиною 10 мм, що вкрита шаром папіросного паперу.

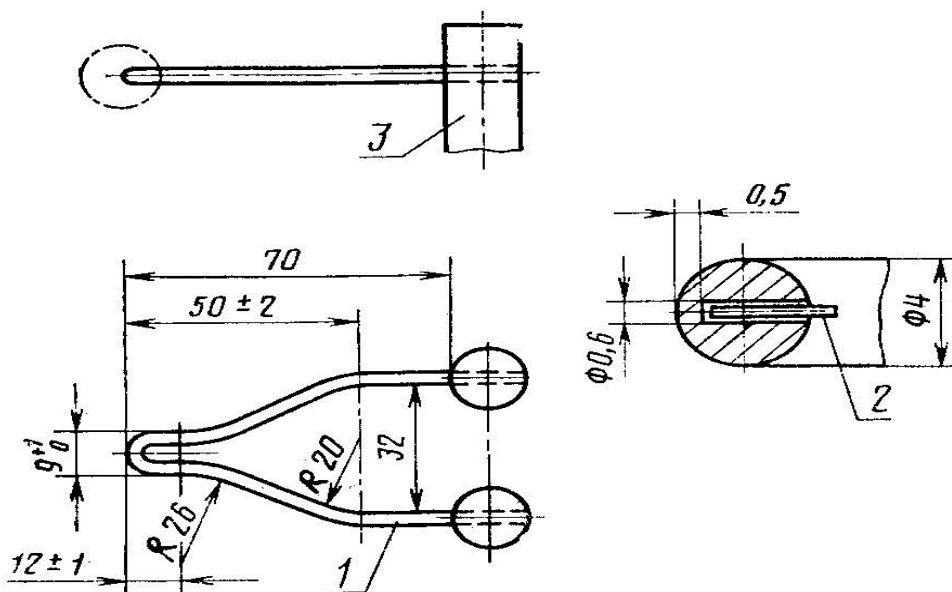
Розпечений дріт, що виготовлений з матеріалу, який складається з 80% Ni та 20% Cr, має форму петлі діаметром 4 мм (рис.7.2). На поверхні петлі не повинно бути дрібних тріщин або інших пошкоджень. Для вимірювання температури дроту використовують термопару, що захищена оболонкою з зовнішнім діаметром 0,5 мм, яка витримує температуру до 960⁰С. Термопара розміщена всередині розпеченого дроту. Для нагрівання кінця дроту до 960⁰С використовують струм силою 120-150 А.





- 1 – затискач для кріплення зразка; 2 – візок; 3 – шнур;
 4 – плита; 5 – вантаж; 6 – гальма; 7 – шкала для виміру висоти полум'я;
 8 – шкала для виміру глибини проникнення петлі в зразок;
 9 – дрiт; 10 – отвір для видалення розпечених частинок матеріалу

Рисунок 7.1 – Пристрій для випробування розпеченим дротом



- 1 – дрiт, виготовлений зі сплаву NiCr; 2 – термопара; 3 – штир

Рисунок 7.2 – Дротяна петля

Пристрій для випробувань має таку конструкцію, щоб нагрітий дріт знаходився в горизонтальному положенні і сила тиску його на зразок становила 0,8-1,2 Н.

Для оцінки ймовірності розповсюдження горіння, наприклад, шляхом відшарування від зразка розпечених або палаючих часточок, елементи, що за звичайних умов експлуатації знаходяться навколо зразка, розташовують під ними на відстані, що відповідає відстані між ними в умовах експлуатації.

Якщо складові електрообладнання досліджуються окремо, то на відстані 250 ± 5 мм нижче зони дії полум'я розташовують плиту з білої сосни, що вкрита шаром папіросного паперу.

Температуру розпеченого дроту вибирають з ряду: (550 ± 10) , (650 ± 10) , (750 ± 10) , (850 ± 10) , $(960 \pm 15)^\circ\text{C}$. Час дії розпеченого дроту становить 30 ± 1 с.

Підготовка до випробувань

1. Зразки полімерного матеріалу витримати протягом 24 год при температурі $15-35^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря 45-75%.

2. На початку досліду зразки оглянути та в разі необхідності виміряти їх фізичні та електричні параметри.

Проведення випробувань

1. Зразок матеріалу розташувати так, щоб:

– поверхня зразка, що знаходиться в контакті з кінцем петлі, була розташована вертикально;

– кінець петлі знаходився в контакті з тією частиною зразка, яка за звичайних умов підлягає дії теплових навантажень.

Якщо відповідні частини не визначено, то кінець петлі дроту притулити до тієї частини зразка, що має найменший розріз, на відстані не меншій ніж 15 мм від краю зразка. Кінець петлі притуляти до плоских поверхонь, що не мають вибоїн, порізів або гострих країв.

2. Дріт нагрівається струмом даної величини до певної температури. Температура та сила струму повинні залишатися незмінними протягом 60 с від початку випробування.

3. Кінець дротяної петлі притулити до зразка та тримати в такому положенні протягом 30 ± 1 с. Потім дріт і зразок роз'єднати, запобігаючи подальшому нагріванню зразка. Глибина проникнення розпеченого дроту в зразок не повинна перевищувати 7 мм.

4. Зазвичай випробовують один зразок. Якщо результати випробування викликають сумнів, то дослідження повторити на інших зразках.

На початку кожного досліду необхідно почистити кінець дротяної петлі від залишків попереднього матеріалу.

Оформлення результатів

Під час проведення досліджень необхідно спостерігати за зразком, оточуючими елементами та розташованим під зразком шаром матеріалу. Необхідно визначити:

а) час (t_1) від початку дії розпеченого дроту до моменту займання зразка або шару матеріалу під ним;

б) максимальну висоту полум'я, не враховуючи початок займання протягом 1 с;

в) час (t_e) від початку дії дроту до моменту затухання полум'я в ході досліді або після його закінчення.

Після закінчення випробування зразок оглянути для виявлення ступеню ушкодження, а також виміряти в разі необхідності механічні та електричні параметри зразка. Вважати, що зразок витримав випробування, якщо:

– відсутнє відкрите полум'я і зразок не розпечений;

– горіння або світіння зразка, оточуючих його елементів, а також шару матеріалу під зразком припиняється протягом 30 с після видалення розпеченого дроту (тобто $t_e \leq t_1 + 30$ с), при цьому оточуючі зразок елементи та шар матеріалу під ним не повинні згоріти повністю. У разі використання папіросного паперу не повинно відбуватися його займання та вигорання соснової плити.

Результати випробувань занести в таблицю.

Полімерний матеріал	Час самостійного горіння зразка, t_e , с	Глибина проникнення розпеченого дроту в зразок, l , мм	Ступінь ушкодження зразка	Стійкість до дії розпеченим дротом

Питання для самоперевірки

1. У чому суть методу дослідження пожежної небезпеки полімерних матеріалів розпеченим дротом?
2. Для яких виробів застосовується метод “розпеченого дроту”?
3. Як класифікуються полімери при дослідженнях методом розпеченого дроту?

Лабораторна робота 8

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПОЛІМЕРІВ ПАЛЬНИКОМ З ГОЛЧАСТИМ ПОЛУМ'ЯМ

Метод випробування пальником з голчастим полум'ям використовується для визначення пожежної небезпеки електротехнічних виробів та їх компонентів.

Складові електротехнічного обладнання, що виготовлені з ізолюючого або іншого горючого матеріалу, здатні розповсюджувати полум'я всередині обладнання, можуть займатися при ушкодженні одного з елементів даного обладнання. За певних умов, наприклад, при проходженні струму короткого замикання по ушкодженому контуру, перевантаженим блоками або несправним з'єднанням, можлива поява полум'я, яке здатне діяти на горючі частини електрообладнання, що знаходяться поруч. Випробування пальником з голчастим полум'ям моделює ефект виникнення відкритого полум'я внаслідок пошкоджень всередині обладнання для оцінки пожежної небезпеки електротехнічного виробу.

Матеріали та обладнання: полімерний зразок (виріб, його вузол або елемент); плита з білої сосни товщиною 10 мм, що вкрита шаром папіросного паперу, газовий пальник, що виконаний з трубки довжиною не меншою 35 мм, внутрішній діаметр якої дорівнює $0,5 \pm 0,1$ мм, а зовнішній – не перевищує 0,9 мм. У пальник подається газ – бутан.

Проведення випробувань

1. Пальник закріпити у вертикальному положенні. Надходження в нього газу відрегулювати так, щоб висота полум'я становила 12 ± 1 мм.

2. Для оцінки ймовірності розповсюдження горіння, наприклад, шляхом відшарування від зразка розпечених або палаючих часточок, елементи, що за звичайних умов експлуатації знаходяться навколо зразка, розташувати під ним на відстані, що відповідає відстані між ними в умовах експлуатації.

3. Якщо складові електрообладнання досліджуються окремо, то на відстані 250 ± 5 мм нижче зони дії полум'я розташувати плиту з білої сосни, яка вкрита шаром папіросного паперу.

4. Зразок витримати перед початком випробувань протягом 24 год при температурі $15-35^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості 45%. Потім зразок оглянути і в разі необхідності виміряти його фізичні та електричні параметри.

5. Зразок закріпити за допомогою спеціальних пристосувань у найбільш не вигідному положенні з точки зору умов експлуатації.

Полум'я пальника спрямувати на ту частину зразка, на яку може діяти полум'я, що виникає в результаті ушкоджень, випадкової дії зовнішнього джерела вогню або в результаті нормальних умов експлуатації (рис.8.1).

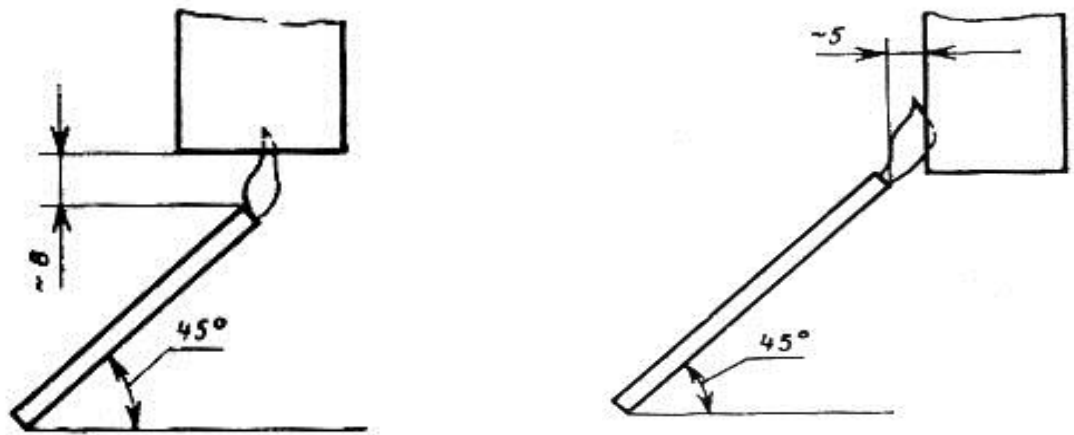


Рисунок 8.1 – Розташування пальника під час випробування

6. Час дії полум'я пальника обрати у відповідності до характеристик зразка. Він може бути: 5, 10, 20, 30, 60, 120 с.
Дослідження проводити на 3-х зразках.

Оформлення результатів

Під час випробування необхідно вести спостереження за зразком, елементами, що його оточують, та шаром, який розташований під ним.

Якщо займається зразок, елементи навколо нього або шар матеріалу під ним, то необхідно заміряти час горіння.

Тривалість горіння – це інтервал часу з моменту віддалення полум'я пальника до зникнення полум'я, або припинення світіння зразка або розташованих поблизу нього елементів.

Після охолодження зразка до температури довкілля та очищення його, визначити ступінь пошкодження та виміряти у разі потреби механічні та електричні параметри зразка.

Ступінь пошкодження зразка – це відстань між центром площі прикладання полум'я пальника та найбільш віддаленим від нього слідом горіння.

Слід горіння – це ушкоджена в результаті горіння площа зразка з урахуванням обвуглювання.

Вважати, що зразок витримав випробування, якщо:

- зразок не зайнявся;
- полум'я, палаючі або розпечені часточки, що відокремлюються від зразка під час досліду, не сприяли розповсюдженню полум'я на оточуючі елементи або на матеріал під зразком, а також, якщо після припинення дії полум'я пальника на зразок відсутнє відкрите полум'я або світіння;

- час горіння не перевищував 30 с;
- ступінь пошкодження зразка не перевищує зазначений заздалегідь.

Результати випробування занести в таблицю.

Полімерний матеріал	№ зразка	Час самостійного горіння зразка, с	Ступінь ушкодження зразка, мм	Слід горіння, мм ²	Стійкість до дії пальника з голчастим полум'ям

Питання для самоперевірки

1. У чому суть методу дослідження пожежної небезпеки полімерних матеріалів пальником з голчастим полум'ям?
2. В яких випадках використовується метод оцінки пожежної небезпеки полімерів пальником з голчастим полум'ям?
3. Як класифікуються полімерні матеріали за методом визначення пожежної небезпеки полімерних матеріалів пальником з голчастим полум'ям?

Лабораторна робота 9

ВИЗНАЧЕННЯ ГОРЮЧОСТІ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Ефективність лакофарбових покриттів щодо підтримування горіння визначається за довжиною площини затухання полум'я, що повинна бути не більшою 120 мм.

Матеріали та обладнання: лакофарбові матеріали; пензлі; спиртовий пальник; сушильна шафа; секундомір; щипці; алюмінієва фольга; лінійка; ножиці.

Підготовка до випробувань

1. На алюмінієву фольгу розміром 200x220 мм і товщиною 40-50 мкм нанести пензлем лакофарбове покриття товщиною 35-40 мкм.
2. Сушити на повітрі при температурі 20⁰С протягом доби, а потім у сушильній шафі при температурі 70-80⁰С протягом 6 год.
3. Вирізати три смужки розмірами 60x200 мм.

Проведення випробувань

Алюмінієву смужку з лакофарбовим покриттям взяти щипцями за один кінець та помістити в полум'я спиртового пальника (висота полум'я ≈ 30 мм) на 10 с. Спостерігати за характером розповсюдженням полум'я вздовж зразка.

Потім смужку вийняти з полум'я, охолодити та виміряти довжину частини покриття, що згоріла (обвуглену частину плівки).

Оформлення результатів

Результатом є середнє арифметичне трьох вимірів. Результати дослідження занести в таблицю.

№ з/п	Покриття	Час горіння, с	Горючість покриття, мм	Середнє значення горючості, мм	Характер горіння

Лабораторна робота 10

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ МІЦНОСТІ СПУЧЕНОГО ВОГНЕЗАХИСНОГО СКЛАДУ

Одним з показників, який характеризує вогнезахисну ефективність полімерних складів (рис. 10.1), що спучуються, є коефіцієнт спучування.



.10.1 – Композиційне покриття на основі епоксидної смоли, що здатне до спучування

Для якісного визначення характеристик міцності спученого вогнезахисного складу використовують модифікований метод пенетрації з використанням консистометра Хеплера. Метод заснований на зануренні тіла

з певною стандартною формою в досліджуваний матеріал під впливом сили тяжіння та робочого навантаження протягом 5 с при температурі 25⁰С.

Коефіцієнт спучування можна визначити шляхом спучування складу, нанесеного товщиною 1 мм на металеву пластину розміром 100x100 мм. Спучування зразків проводять в термошафі з витримкою зразків при температурі 600⁰С протягом 5 хв.

Матеріали та обладнання: консистометр Хеплера (рис. 5.11); термошафа; металева пластинка 100x100мм; полімерна композиція.

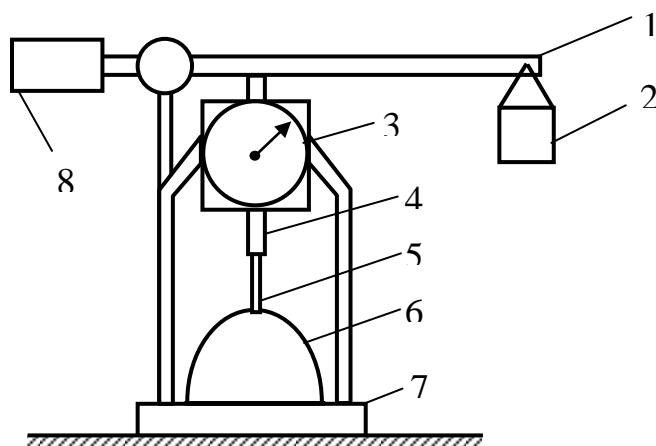
В якості пенетрометра використовували консистометр Хеплера, який являє собою плунжер, що вільно рухається, із закріпленим на ньому робочим тілом у вигляді голки з плоским кінцем (індентором) діаметром 5 мм (рис. 10.2).

Проведення випробувань

Нанести на підготовану металеву пластину розміром 100x100 мм покриття товщиною 1 мм. Спучування покриття провести в термошафі при температурі 600⁰С протягом 5 хв.

Перед початком вимірювання голку робочого тіла необхідно підвести впритул до поверхні спученого складу, а до верхньої частини плунжера прикласти певне навантаження. Потім плунжер треба звільнити, і він почне занурюватися в зразок під дією прикладеної сили. Зафіксувати навантаження, при якому протягом 5 секунд індентор поринає у спучене покриття на глибину 10 мм.

Вимірювання провести в трьох точках поверхні спученого шару, після чого визначити мінімальну силу, що необхідна для руйнування поверхні.



- 1 – важіль; 2 – навантаження; 3 – індикатор годинникового типу;
4 – плунжер; 5 – індентор; 6 – спучений пінококс; 7 – підставка;
8 – протизвага.

Рисунок 10.2 – Лабораторна установка з визначення механічної міцності спученого вогнезахисного покриття

Оформлення результатів

Коефіцієнт спучування K_c визначити як відношення товщини спученого шару h до початкової товщини покриття h_0 :

$$K_c = h/h_0. \quad (10.1)$$

Коефіцієнт спучування визначається як середньоарифметичне трьох вимірів.

Механічну міцність розрахувати за формулою:

$$F = m/S, \quad (10.2)$$

де m – маса навантаження, прикладеного до індентора, г;

S – площа, до якої прикладене навантаження (площа перетину індентора), см^2 .

Результати дослідження занести в таблицю.

Покриття	Початкова товщина покриття, h_0 , мм	Товщина спученого шару, h , мм	Коефіцієнт спучування, K_c	Навантаження, m , г	Площа перетину індентора, S , см^2	Механічна міцність покриття, F , г/см^2

Лабораторна робота 11

ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ТЕРМІЧНИЙ ТА ТЕРМОГРАВІМЕТРИЧНИЙ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

Основним методом термічного аналізу є диференційний термічний аналіз (ДТА), який дозволяє виявляти та досліджувати фазові перетворення й хімічні реакції, що протікають у речовині при нагріванні або охолодженні, за термічними ефектами, що супроводжують ці зміни. Метод заснований на найважливіших властивостях речовини, що пов'язані з її хімічним складом і структурою, які відображаються на теплових змінах речовини під час її нагрівання або охолодження.

У термічному аналізі можна фіксувати так звані криві нагрівання (або охолодження) досліджуваного зразка, тобто зміну температури останнього в часі. У випадку якого-небудь фазового перетворення в речовині (або суміші речовин) на кривій з'являються площадки або злами. Більшу чутливість має метод диференційного термічного аналізу, в якому реєструється в часі зміна різниці температур між досліджуваним зразком і зразком порівняння (найчастіше Al_2O_3), що не зазнає в даному інтервалі температур ніяких перетворень. Мінімуми на кривій ДТА відповідають ендотермічним процесам, а максимуми – екзотермічним.

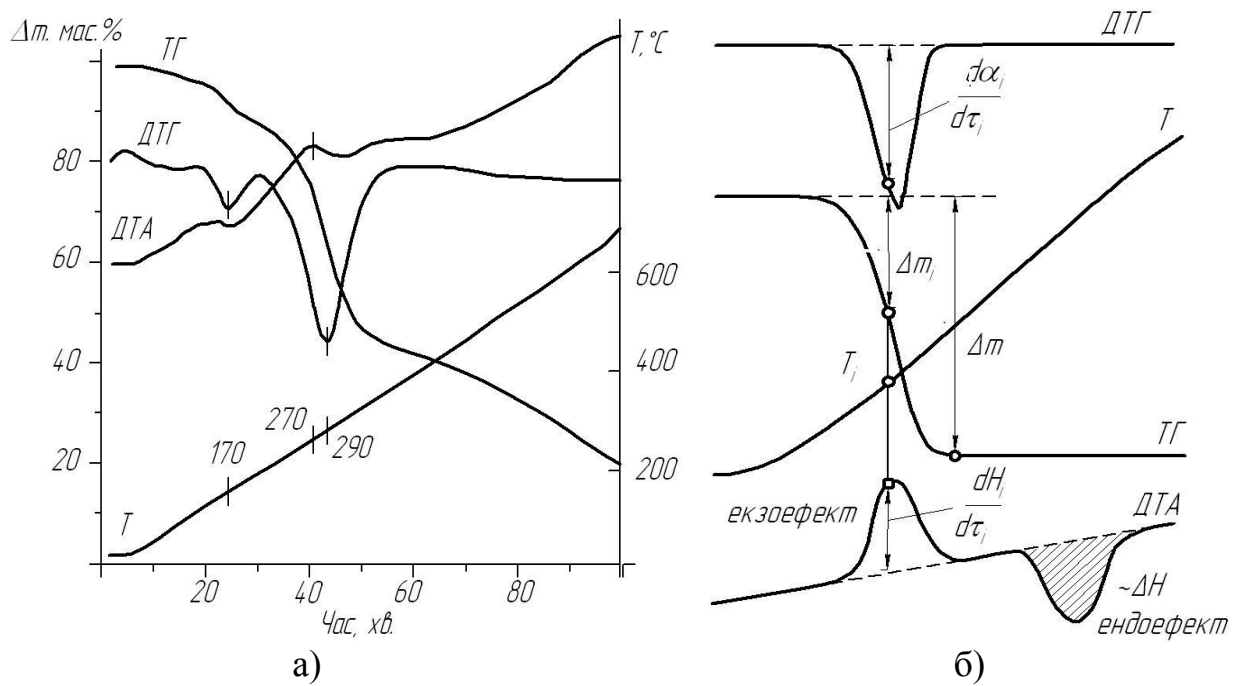
Чутливість ДТА залежить від швидкості зміни температури, маси досліджуваного зразка, розмірів часток у ньому, форми утримувача, від атмосфери, в якій перебуває зразок. За допомогою ДТА можна вимірювати теплові ефекти з точністю до 0,05–0,1 Дж/моль і зміну маси з точністю до 0,2–0,3%. Об'єктами дослідження можуть бути сплави, мінерали, кераміка, деревина, полімерні та інші матеріали. ДТА широко використовують для вивчення фазових перетворень, термічного розкладу, окиснювання, горіння, внутрішньомолекулярних перегрупувань та інших процесів.

Характеристика кривих термічного аналізу

Температурна крива Т (рис. 11.1 (а, б)) фіксує температуру зразка. Реєстрація процесу проводиться в координатах «температура – час». При відсутності в зразку теплових ефектів процес реєструється у вигляді похилої лінії, при їхній наявності на кривій повинні фіксуватися горизонтальні ділянки. Проектування горизонтальної ділянки кривої на вісь температури дозволяє визначити температуру переходу. При практичній обробці температурної кривої користуються планшетом з лінійкою, що дозволяє залежно від температурного інтервалу, у якому проводився процес, вимірювати на термограмі безпосередньо температуру в тій або іншій точці.

Крива ДТА фіксує різницю температур між зразком і еталоном при програмованому нагріванні та дозволяє давати якісну та кількісну оцінки фізико-хімічного або хімічного процесу. Напрямок відхилення піка на кривій ДТА визначає характер теплового ефекту (екзо- або ендотермічний), а площа піка пропорційна величині теплового ефекту (ΔH).

Крива ТГ. Сутність термогравіметричного (термовагового) методу аналізу полягає в безперервній реєстрації зміни маси речовини під час протікання різних фізико-хімічних процесів у досліджуваній речовині під дією температури. За кривою ТГ можна визначити як абсолютну (Δm_i), так і відносну втрату маси в даній точці процесу ($\alpha_i = \Delta m_i / \Delta m$) (рис. 11.1 (б)). Метод ТГ є важливим доповненням методу ДТА, тому що безперервна реєстрація зміни маси речовини дозволяє здійснювати більш точний кількісний аналіз фізичних і хімічних перетворень у речовині під час її нагрівання.



ТГ – термогравіметрична крива; ДТА – крива диференційного термічного аналізу;

ДТГ – диференційна термогравіметрична крива

Рисунок 11.1 – Дериватограми епоксиполімера

Крива ДТГ – похідна від кривої ТГ, що характеризує швидкість перетворення. Її наявність суттєво полегшує виділення окремих стадій перетворення при первинній обробці дериватограми та дає фактичний матеріал для розрахунків кінетичних параметрів певної стадії. При цьому стає можливим застосування диференційної форми запису кінетичного рівняння. Максимуми на кривій ДТГ відповідають максимальній швидкості зміни маси, тобто дійсній температурі реакції.

Інтерпретація та розшифровка термограм

Геометричний аналіз кривих нагрівання. Проведення термічного аналізу полягає в реєстрації кривих нагрівання, виявленні їх геометричних елементів та в наступному встановленні зв'язків і залежностей між геометричними формами кривих і властивостями досліджуваної речовини.

Термічні ефекти характеризуються температурними межами протікання процесів (початком процесу, максимальною швидкістю протікання процесу, кінцем процесу), площею та амплітудою. Форма піка залежить від швидкості підйому температури в печі та від кількості досліджуваного матеріалу. При повільному нагріванні утворюються широкі й округлі піки, при швидкому – вузькі й гострі. Для одержання вірогідних результатів швидкість нагрівання повинна бути постійною в усьому досліджуваному діапазоні температур.

Залежно від форми піка характеристичні температури (температури, при яких крива відхиляється від базисної лінії) визначають трьома різними методами. У випадку різких перегинів кривої характеристичну температуру визначають за точкою перегину (рис. 11.2 (а), точка 1), при плавному перегині – перетинанням екстраполяційної лінії С лінійної ділянки гілки піка й базисної лінії (рис. 11.2 (б), точка 2) або в точці дотику прямої, проведеної під кутом 45° до базисної лінії (рис. 11.2 (б), точка 3).

До геометричних елементів термограми (рис. 11.2, 11.3) відносяться:

1) температура початку термічного ефекту T_0 , тобто температура початку відхилення кривої ДТА від базисної лінії;

2) температура максимуму термічного ефекту (пік, вершина, екстремальна точка) T_{\max} , тобто температура максимального відхилення кривої ДТА від базисної лінії;

3) температура закінчення термічного ефекту T_1 ;

4) інтервал температур, в якому зареєстрований ефект, $T_1 - T_0$;

5) амплітуда термічного ефекту (висота, глибина термічного ефекту) A – величина, що визначає найбільше відхилення кривої ДТА від базисної лінії в процесі перетворення, що відбувається в досліджуваній речовині. Глибина піка (амплітуда) прямопропорційна кількості теплоти, що виділяється або поглинається під час реакції; визначається як висота піка стосовно базисної лінії. У випадку відсутності зсуву базисної лінії (рис. 11.2 (в)) глибина піка дорівнює відрізку KL . У тих випадках, коли при термічному ефекті змінюється положення базисної лінії, для визначення амплітуди піка використовують два методи. Відповідно до першого методу, за амплітуду піка приймають вертикальну лінію ME , проведenu від вершини піка до базисної лінії AB (рис. 11.2 (д)). За другим методом висотою піка вважають відрізок MN між вершиною піка й лінією ND ;

6) площа термічного ефекту S , що знаходиться між базисною лінією та кривою ДТА;

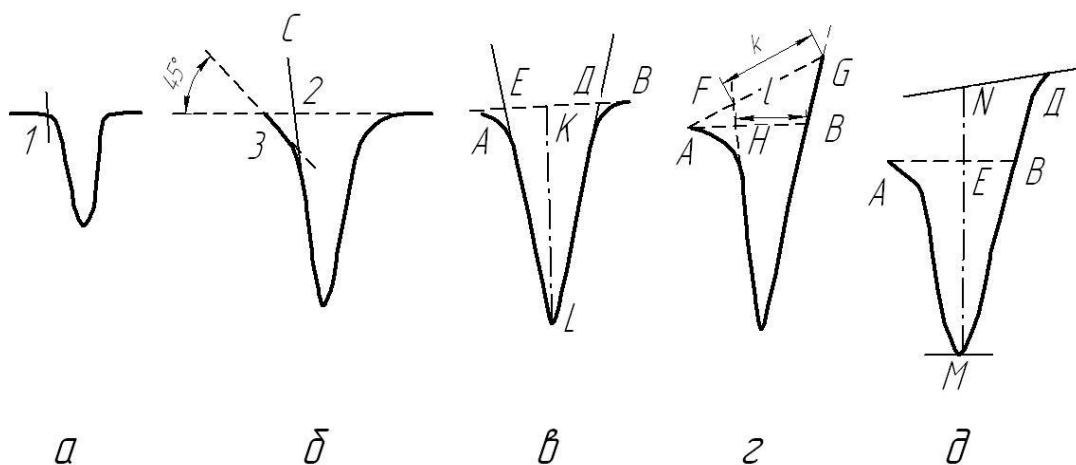
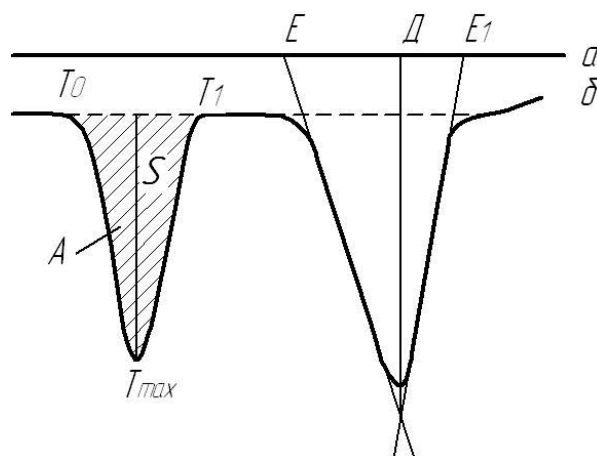


Рисунок 11.2 – Визначення характеристичної температури процесу (а, б), ширини піка (в, г) і глибини піка (в, д)



а – нульова лінія, б – базисна; температури:

T_0 – початок термічного ефекту,

T_1 – закінчення термічного ефекту, T_{\max} – максимум термічного ефекту,

$T_1 - T_2$ – інтервал температур термічного ефекту; S – площа;

A – амплітуда

Рисунок 11.3 – Геометричні елементи кривої ДТА

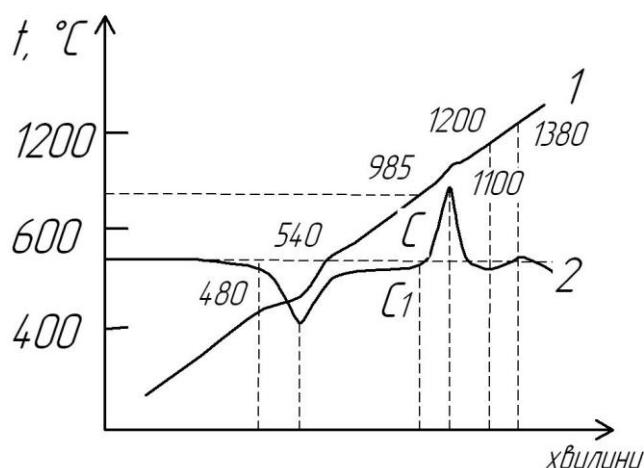
7) ширина піка – це відстань між точками початку та закінчення ендо- або екзотермічного ефекту (рис.11.3 (в), відрізок АВ). У випадку плавного перегину кривої ширину піка можна визначити шляхом екстраполяції. Для цього лінійні ділянки обох гілок піка екстраполюють до перетинання із прямою АВ. Відрізок ЕД (рис.11.3 (в)) – ширина піка. Якщо крива по закінченні реакції не повертається на базисну лінію, ширину піка можна визначити двома способами, як це показано на рис.11.3 (г). За першим способом екстраполяційні лінії перетинають лінію, що з'єднує початок і кінець кривої термічного ефекту (ширина піка FG), за другим – лінію АВ, що є продовженням базисної лінії (ширина піка HB).

Більшість речовин має індивідуальні геометричні елементи термічних ефектів, які показують, що крива ДТА належить даній речовині, а не іншій. Кількість ефектів, їх тепловий знак та геометричні елементи, послідовність розташування екзо- та ендотермічних ефектів становлять характеристику термограми.

Розшифрування термограм. Записані на приладі криві термограм потребують додаткового оформлення.

Проводять вісь абсцис за нульовими точками, що засвічені на фотопапері пучками світла від гальванометрів, які перебувають у вихідному положенні. Через точку початку запису температурної кривої проводять вісь ординат перпендикулярно до осі абсцис. На осі абсцис відкладають час у хвилинах у масштабі, що залежить від швидкості обертання барабану; на осі ординат – температурну шкалу (рис.11.4). Температуру будь-якого термічного ефекту встановлюють за допомогою кривої 1. Наприклад, для точки С проводять паралельну осі ординат лінію до перетинання з кривою 1.

Отриману температуру переносять на вісь ординат, провівши через точку С паралельну осі абсцис лінію до перетинання з лінією ординат.



1 – температурна крива ТГ; 2 – крива ДТА
Рисунок 11.4 – Термограма

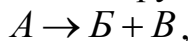
Розшифрування термограм невідомої речовини проводять за температурами перетворень шляхом їхнього порівняння з температурами перетворень відомих речовин.

Розрахунки основних кінетичних параметрів процесу термічної деструкції високомолекулярних речовин

Кінетичні дослідження включають звичайний вимір швидкості реакції та розгляд факторів, що впливають на цю швидкість. Найбільш важливими кінетичними параметрами являються стала швидкості реакції (k), порядок реакції (n) і енергія активації (E).

Для розрахунків основних кінетичних параметрів процесу термічної деструкції високомолекулярних речовин запропонований метод з використанням даних термогравіметричного аналізу при постійній швидкості нагрівання.

Якщо схематично представити деструкцію як



де A – вихідний продукт; B – леткий компонент; B – твердий залишок, то швидкість реакції розкладання буде описуватися рівнянням:

$$-\frac{dC}{dr} = kC^n, \quad (11.1)$$

де k – константа швидкості реакції;

n – порядок реакції;

C – концентрація вихідної речовини в системі;

r – час.

Константа швидкості реакції пов'язана з температурою рівнянням Арреніуса:

$$k = K_0 e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (11.2)$$

де E – енергія активації;

K_0 – передекспоненціальний множник;

R – газова стала;

T – абсолютна температура;

e – основа натурального логарифма.

Підставивши в рівняння (11.1) значення k , отримаємо:

$$-\frac{dc}{dr} = K_0 e^{-\frac{E}{RT}} C^n. \quad (11.3)$$

Позначивши швидкість нагрівання β як відношення $\frac{dT}{dr}$ та виразивши $dr = \frac{dT}{\beta}$, одержимо рівняння в наступному виді:

$$-\frac{dc}{dT} = \frac{K_0}{\beta} e^{-\frac{E}{RT}} C^n. \quad (11.4)$$

Таким чином, кінетичні дослідження повинні полягати в тому, щоб відшукати три невідомі величини рівняння (11.4): передекспоненціальний множник (K_0), енергію активації (E) і порядку реакції (n). Оскільки одне рівняння із трьома невідомими вирішити неможливо, для визначення параметрів K_0 , E і n використовуються три рівняння для точки перегину на термогравіметричній кривій (ТГК).

Перше рівняння – рівняння швидкості процесу для будь-якої точки ТГК:

$$\left(\frac{dC}{dT}\right)_{T=T_{nne}} = -\frac{K_0}{\beta} e^{-\frac{E}{RT_{nne}C^n}}. \quad (11.5)$$

Друге рівняння одержують з умови рівності нулю другої похідної для точки перегину, тобто $\left(\frac{d^2C}{dT^2}\right)_{T=T_{nne}} = 0$ (рівняння застосовується тільки для точки перегину).

Взявши другу похідну рівності (11.5), одержують:

$$-\frac{K_0}{\beta} e^{-\frac{E}{RTn}} n C_{nep}^{n-1} \left(\frac{dC}{dT} \right)_{T=T_{nne}} - \frac{K_0}{\beta} e^{-\frac{E}{RTn}} C_{nep}^n \frac{E}{RT_{nep}^2} = 0. \quad (11.6)$$

Третє рівняння (рівняння Дойла), що приймається для будь-якої точки кінетичної кривої, можна отримати з рівняння (11.3), відокремивши змінні і інтегруючи обидві частини рівняння в межах від одиниці до C_{nep} і від T_0 до T_{nep} :

$$\begin{aligned} \int_1^{C=C_{nep}} \frac{dC}{C^n} &= -\frac{K_0}{\beta} \int_{T_0}^{T=T_{nep}} e^{-\frac{E}{RT}} dT = -\frac{K_0 E}{\beta R} \left(\frac{e^{-x}}{x} - \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \right) = \\ &= -\frac{K_0 E}{\beta R} \frac{e^{-x}}{x^2} \left(x - x^2 e^x \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \right), \end{aligned} \quad (11.7)$$

де $x = \frac{E}{RT}$.

Значення $\frac{e^{-x}}{x^2}$ можна вивести, розділивши обидві частини рівняння (11.6) на RT і T і підставивши $T = \frac{E}{Rx}$. Крім того, підставивши в рівняння (11.6) значення $\frac{dC}{dT}$ з рівняння (11.5) можна буде записати:

$$\begin{aligned} \frac{E}{RT} \frac{Rx}{E} &= -\frac{n}{C_{nep}} \left(-\frac{K_0}{\beta} e^{-\frac{E}{RTn}} C_{nep}^n \right), \text{ або} \\ \frac{x^2 R}{E} &= \frac{n K_0 e^{-x} C_{nep}^{n-1}}{\beta}. \end{aligned}$$

Подальше перетворення цієї рівності приводить до наступного виразу:

$$\frac{e^{-x}}{x^2} = \frac{R\beta}{EnK_0 C_{nep}^{n-1}}. \quad (11.8)$$

Підставивши значення $\frac{e^{-x}}{x^2}$ з рівняння (11.8) у рівняння (11.7) одержимо:

$$\int_1^{C_{nep}} \frac{dc}{C^n} = -\frac{1}{nC_{nep}^{n-1}} \left(x - x^2 e^x \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \right). \quad (11.9)$$

Подальші рішення рівняння (11.9) різняться для випадків $n=1$ та $n \neq 1$.

Для $n \neq 1$. Переносячи $\frac{1}{nC_{nep}^{n-1}}$ в ліву частину рівності та інтегруючи його, одержимо:

$$\frac{n}{n-1} (1 - C_{nep}^{n-1}) = x - x^2 e^x \int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du.$$

Нескладні перетворення приводять до наступного виразу:

$$nC_{nep}^{n-1} = 1 + (n-1) \left[1 - x + e^x x^2 \int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \right].$$

Позначивши вираз в дужках через $\Pi(x)$ одержимо:

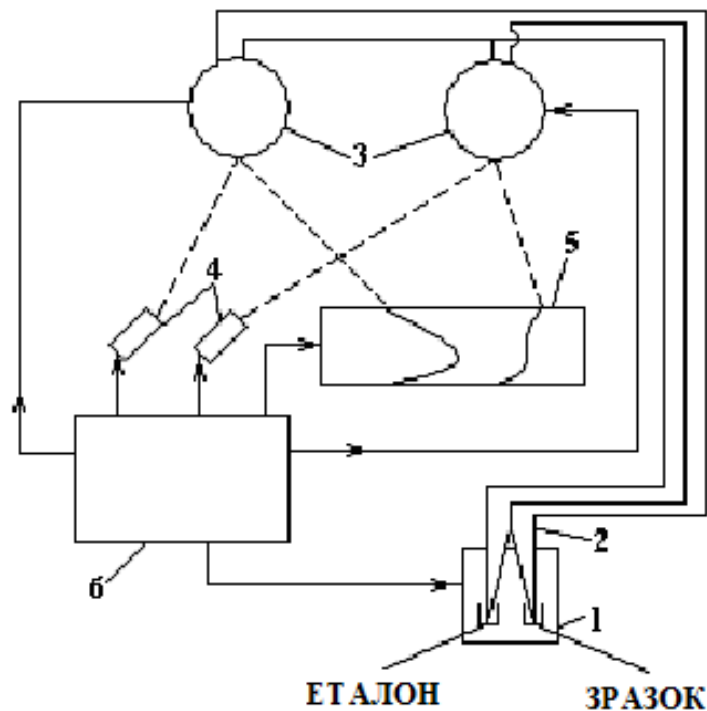
$$nC_{nep}^{n-1} = 1 + (n-1)\Pi(x). \quad (11.10)$$

Для $n=1$. Підставляючи замість n одиницю в рівняння (11.9) і вирішуючи його аналогічно попередньому, можна одержати остаточний вид рівняння:

$$\ln C_{nep} = -1 + \Pi(x). \quad (11.11)$$

Матеріали та обладнання: пірометр Курнакова; спеціальна кювета із плавленого кварцу або вогнетриву; дослідний матеріал; речовина-еталон (оксид магнію або оксид алюмінію).

Прилад для диференційного термічного аналізу з автоматичним записом температури зразка та різниці температур зразка й еталона був створений Н.С. Курнаковим ще в 1903 році та одержав назву пірометра Курнакова (рис. 11.5).



1 – нагрівальна піч; 2 – блок термопар; 3 – дзеркальні гальванометри; 4 – освітлювачі; 5 – прилади для реєстрації (самописи); 6 – регулюючі прилади (латри, потенціометри)

Рисунок 11.5 – Принципова схема термографічної установки

Проведення випробувань

У ході експерименту нагрівальна піч забезпечує нагрівання еталона і зразка з постійною швидкістю. В зразку внаслідок перетворень відбувається підвищення або зниження температури (екзо- або ендотермічні ефекти). Температурні зміни в зразку й еталоні обумовлюють виникнення в спах термопар електрорушійної сили, що забезпечує поворот дзеркала гальванометрів на визначений кут, завдяки чому відбувається переміщення відбитих світлових променів, що фіксуються на фотопапері.

Наважку матеріалу масою від 0,1 до 0,5 г необхідно помістити в спеціальну кювету із плавленого кварцу або вогнетриву. В досліджуваній пробі й еталоні розташовуються спаї температурної і диференційної термопар. В якості інертної речовини-еталона звичайно використовується оксид магнію або оксид алюмінію, які не зазнають перетворень із виділенням або поглинанням теплоти в досліджуваному температурному інтервалі. Об'єми інертної речовини-еталона й досліджуваної проби повинні бути рівні.

Промені, відбиті від дзеркал гальванометрів, направляються у вихідну точку на фотопапері. Далі вмикається піч і проводиться запис на фотопапері переміщень світлових променів. По закінченні запису кривої ДТА

закривається світлозахисна шторка реєстраційного барабанчика, прилад вимикається, виймається барабанчик з фотопапером у захисному кожусі. Фотопапір проявляється і після висихання вивчається.

Якщо в досліджуваній речовині й еталоні при рівномірному нагріванні не відбувається ніяких фізико-хімічних перетворень, то виникаючі в обох гілках диференційної терморпарі електрорушійні сили спрямовані назустріч одна одній та взаємно компенсуються. Гальванометр не відхиляється, а диференційна крива паралельна осі абсцис. Якщо в досліджуваній речовині відбуваються процеси, що супроводжуються виділенням (або поглинанням) енергії, то її температура буде вище (або нижче) температури еталона.

Оформлення результатів

Використовуючи рівняння (11.5), (11.6), (11.10), або (11.11), а також значення функції $\Pi(x)$ при різних значеннях x (табл. 11.1) за даними термогравіметричного аналізу можна визначити величини n , E , K_0 , користуючись наступною методикою.

1. Визначити координати точки перегину за експериментальною кривою та розрахувати концентрацію в точці перегину в безрозмірних одиницях за формулою:

$$C_{пер} = \frac{\omega - \omega_k}{\omega_0 - \omega_k},$$

де $C_{пер}$ – концентрація в точці перегину або доля речовини, що не розклалася;

ω – маса зразка в даний момент (може бути виражена як $100 - V_{Тпер}$, де $V_{Тпер}$ – втрата (вихід) летких продуктів при температурі точки перегину), %;

ω_k – кінцева маса твердого залишку, рівна $100 - V_k$, де V_k – втрата (вихід) летких продуктів при температурі 500°C , %;

ω_0 – початкова маса зразка (100 %).

Після підстановки значень ω , ω_0 , ω_k отримуємо зручну для розрахунку $C_{пер}$ формулу:

$$C_{пер} = 1 - \frac{V_{Тпер}}{V_k}. \quad (11.12)$$

2. За експериментальними даними визначити швидкість розкладання в точці перегину (втрата ваги під час зміни температури на 1°). Для цього:

а) за формулою (М. 1) визначити C_1 (при температурі T_1 на 10^0 нижчій за точку перегину та C_2 при температурі T_2 на 10^0 вищій за точку перегину);

б) оскільки для точки перегіну повинна виконуватися умова $\left(\frac{d^2C}{dT^2}\right)_{T=T_{не}} = 0$, то правильність визначення координат точки перегіну, $C_{пер}$, C_1 та C_2 перевірити за рівністю:

$$\frac{2C_{пер}}{C_1 + C_2} = 1. \quad (11.13)$$

При недотриманні цієї рівності більше ніж на 0,2 % необхідно уточнити координати точки перегіну і увесь розрахунок повторити;

в) за розрахованими значеннями $C_{пер}$, C_1 та C_2 визначити швидкість розкладання в точці перегіну:

$$\frac{dC}{dT}_{T=T_{не}} \approx \frac{C_2 - C_1}{T_2 - T_1} = -\frac{C_1 - C_2}{20}. \quad (11.14)$$

3. Визначити E за умови $n=1$:

$$E = -\frac{nRT_{пер}^2}{C_{пер}} \left(\frac{dC}{dT}\right)_{T=T_{пер}}, \quad (11.15)$$

де E – енергія активації, кал/моль;

n – порядок реакції;

R – газова стала, 1,986 кал/град·моль;

T – температура точки перегіну, $^{\circ}\text{K}$;

$C_{пер}$ – визначається за рівнянням (11.12);

$\left(\frac{dC}{dT}\right)_{T=T_{пер}}$ – визначається за рівнянням (11.14).

За значенням E визначити:

$$x = \frac{E}{RT_{пер}} \quad (11.16)$$

За визначеним значенням x з табл. 11.1 знаходимо значення функції $\Pi(x)$.

Таблиця 11.1 – Значення функції $\Pi(x)$ при різних значеннях x

X	$\Pi(x)$	X	$\Pi(x)$	X	$\Pi(x)$	X	$\Pi(x)$
1	0,596	5,8	0,235	9,6	0,161	14,0	0,115
2	0,445	5,9	0,232	9,7	0,160	14,2	0,113
2,1	0,435	6,0	0,229	9,8	0,159	14,4	0,111
2,2	0,426	6,1	0,226	9,9	0,158	14,6	0,109
2,3	0,417	6,2	0,223	10,0	0,157	14,8	0,108
2,4	0,409	6,3	0,220	10,1	0,155	15,0	0,107
2,5	0,401	6,4	0,217	10,2	0,153	15,5	0,105
2,6	0,394	6,5	0,214	10,3	0,152	16,0	0,103
2,7	0,385	6,6	0,212	10,4	0,151	16,5	0,101
2,8	0,376	6,7	0,210	10,5	0,150	17,0	0,099
2,9	0,367	6,8	0,208	10,6	0,149	17,5	0,097
3,0	0,358	6,9	0,207	10,7	0,148	18,0	0,095
3,1	0,351	7,0	0,206	10,8	0,147	18,5	0,093
3,2	0,344	7,1	0,204	10,9	0,146	19,0	0,091
3,3	0,338	7,2	0,202	11,0	0,145	20,0	0,088
3,4	0,332	7,3	0,200	11,1	0,143	21	0,085
3,5	0,326	7,4	0,198	11,2	0,142	22	0,082
3,6	0,320	7,5	0,196	11,4	0,140	23	0,079
3,7	0,314	7,6	0,194	11,5	0,139	24	0,076
3,8	0,310	7,7	0,192	11,6	0,138	25	0,073
3,9	0,307	7,8	0,190	11,7	0,137	26	0,070
4,0	0,302	7,9	0,188	11,8	0,136	27	0,067
4,1	0,297	8,0	0,187	11,9	0,135	28	0,065
4,2	0,292	8,1	0,185	12,0	0,134	29	0,063
4,3	0,287	8,2	0,183	12,1	0,133	30	0,061
4,4	0,282	8,3	0,181	12,2	0,132	31	0,059
4,5	0,278	8,4	0,179	12,3	0,131	32	0,057
4,6	0,274	8,5	0,177	12,4	0,130	33	0,055
4,7	0,270	8,6	0,175	12,5	0,129	34	0,053
4,8	0,266	8,7	0,174	12,6	0,128	35	0,051
4,9	0,262	8,8	0,173	12,7	0,127	36	0,050
5,0	0,259	8,9	0,172	12,8	0,126	37	0,049
5,1	0,256	9,0	0,171	12,9	0,125	38	0,048
5,2	0,253	9,1	0,169	13,0	0,124	39	0,047
5,3	0,247	9,2	0,167	13,2	0,122	40	0,046
5,4	0,244	9,3	0,166	13,4	0,120	50	0,038
5,5	0,241	9,4	0,165	13,6	0,118	60	0,035
5,6	0,241	9,5	0,163	13,8	0,116	70	0,033
5,7	0,238					80	0,032

У випадку, якщо процес термічного розкладання цього зразка описується рівнянням першого порядку ($n=1$), то повинна дотримуватися рівність:

$$2,3 \lg C_{пер} = -1 + \Pi(x). \quad (11.17)$$

У разі, якщо рівність (11.17) не виконується, то $n \neq 1$. Тоді n визначається з рівняння:

$$nC_{пер}^{n-1} = -1 + (n-1)\Pi(x). \quad (11.18)$$

Після перетворення отримуємо:

$$n = \frac{1 - \Pi(x)}{C_{пер}^{n-1} - \Pi(x)}. \quad (11.19)$$

Рівняння (11.19) вирішити графічно. Для значень n рівних 2, 3, 4 і так далі знаходимо значення $E_n = En$ і $x = \frac{En}{RT_{пер}}$, а за значенням x за табл.

11.1 знаходимо значення $\Pi(x)$.

Отриманні значення правої частини рівняння (11.19) наносимо на графік (рис. 11.6). Точка перетину отриманої кривої з бісектрисою координатного кута і буде значенням n .

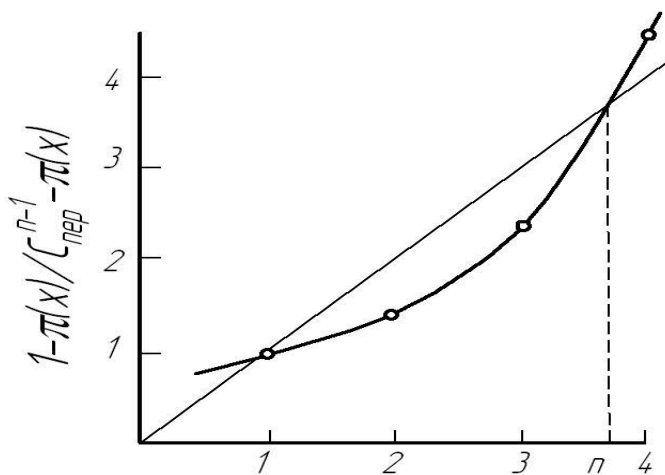


Рисунок 11.6 – Графічне визначення величини n

Таким чином, якщо виконується рівність (11.17), то E приймається рівним значенню, визначеному за формулою (11.15) при $n=1$. У протилежному випадку E розраховується при значенні n , знайденому з (11.19), тобто:

$$E_n = En. \quad (11.20)$$

За знайденим значенням E_n визначити x за формулою (11.16) та $\Pi(x)$ за табл.11.1.

4. Передекспоненціальний множник K_0 знайти за рівнянням:

$$K_0 = \frac{x^2 \beta R}{e^{-x} E_n} \frac{1}{nC_{пер}^{n-1}}, \quad (11.21)$$

де e – основа натурального логарифму;

β – швидкість нагрівання, град/сек;

R – газова стала;

K_0 – передекспоненціальний множник, с.

5. Для побудови розрахункової кривої використовується рівняння (11.7), перетворене до наступного виду:

$$\int_1^{C=C_n n e} C^{-n} dC = \int_{T_n}^{T_k} -\frac{K_0}{\beta} e^{-\frac{E}{RT}} dT$$

$$\frac{C^{1-n} - 1}{1-n} = -\frac{K_0 E}{\beta K} \left(\frac{e^{-x}}{x} - \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \right) = -\frac{K_0 E}{\beta R} - P(x),$$

$$P(x) = \frac{1 - \Pi(x)}{e^x x^2}$$

Далі

$$C^{1-n} = 1 - \frac{K_0 E}{\beta R} P(x)(1-n),$$

$$\lg C = \frac{1}{1-n} \lg \left[1 - \frac{K_0 E}{\beta R} P(x)(1-n) \right]. \quad (11.22)$$

Для обчислення C при різних T необхідно в формулу (11.22) підставити значення $P(x)$ при різних значеннях $x = \frac{E}{RT}$, де T змінюється від T_n до T_k . Знайдені значення C в межах T_n – T_k підставити в формулу (11.12) і знайти:

$$V_T = V_K (1 - C_T).$$

Набуті значення V_T нанести на графік. Отриману криву порівняти з експериментальною кривою.

Питання для самоперевірки

1. У чому суть методу диференційно-термічного аналізу?
2. Що дозволяє досліджувати метод диференційно-термічного аналізу?
3. Що фіксує температурна крива та крива диференційно-термічного аналізу?
Що фіксують термічні ефекти на кривій нагрівання?

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1. Р.А. Яковлева, Т.М. Обіженко, Ю.М. Данченко та ін. Практикум з науко-дослідної роботи студентів та аспірантів. Полімери в будівництві: Навчальний посібник. – Х.: ХДТУБА, 2012. – 150 с.
2. Р.А. Яковлева, Ю.В. Попов, Т.М. Обіженко та ін. Лабораторний практикум. Пластмаси в будівництві та їх пожежна небезпека: Навчальний посібник – Харків: Консум. – 2006. – 133 с.
3. Р.А. Яковлева, Т.М. Обіженко, Ю.М. Данченко та ін. Практикум з науково-дослідної роботи студентів та аспірантів. Полімери в будівництві: Навчальний посібник. – Х. ХДТУБА, 2012. – 150 с.
4. Р.А. Яковлева. Пластмаси в будівництві та їх пожежна небезпека: Навчальний посібник. – Харків: Видавнича група «РАКаравела», 2000. – 157с.
5. Методичні вказівки до самостійного вивчення дисципліни «Полімери в будівництві та їх пожежна небезпека» для студентів спеціальностей 161 «Хімічні технології та інженерія» та 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання / Укладач: Н.В. Саєнко. – Х.: ХНУБА, 2017. – 36 с.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Пожежна небезпека речовин та матеріалів: Ін. Форм. Лист.- Київ: УкрНДПБ, 2000, №5, 40 с.
2. ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
3. ДСТУ EN 4589-3:2015 (EN ISO 4589-3:1996, IDT; ISO 4589-3:1996, IDT) Пластмаси. Визначення характеристик горіння за кисневим індексом.
4. Посібник по практичному застосуванню ДБН В.1.1 -7 “Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги”: [Виробничо-практичне видання] - Київ: ТОВ “Київська книжково-журнальна фабрика”, 2018, - 36 с.
5. Пахаренко В.А. Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. К.: Из-во Воля, 2006. – 552 с.
6. Пахаренко В.А., Пахаренко В.В., Яковлева Р.А. Пластмаси в будівництві: Підручник. – К.: «Видавництво Ліра-К», 2012. – 352 с.
7. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: навч. посібник // В. Попович В., А. Кондир, Е. Плешаков та ін. — Львів: Світ, 2009. — 552 с.
8. Спорягін Е.О. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів : навч. посіб. / Е. О. Спорягін, К. Є. Варлан. – Д.: Вид-во ДНУ, 2012. –190 с
9. ДБН В.1.4-2.01-97 “Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві. Радіаційний контроль будівельних матеріалів та об’єктів будівництва”

Навчальне видання

САЄНКО Наталія Вячеславівна
ОБІЖЕНКО Тетяна Миколаївна
СКРИПИНЕЦЬ Анна Василівна

**«ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ»**

Лабораторний практикум

Навчально-методичний посібник

Роботу до видання рекомендував В.П. Сопов

Редактор В.І. Пуцик

План 2021 р., поз. 8.22
Підп. до друку 11.10. 21
Надруковано на ризографі.
Тираж 50 прим.

Формат 60x84 1/16.
Обл.-вид. арк. 3,0
Умов. друк. арк.
Зам. № 6790

Папір друк. № 2.
Безкоштовно.

ХНУБА, 61002, Харків, вул. Сумська, 40

Підготовлено та надруковано РВВ Харківського національного
університету будівництва та архітектури