

УДК 614.841.332

*Р.І. Кравченко, канд. техн. наук, ст. наук. співр., П.О. Іллюченко*

## **АНАЛІЗ ВИМОГ ТА МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ НА КОРОЗІЙНУ АКТИВНІСТЬ ЛЕТКИХ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПРОДУКЦІЇ**

Проведено аналіз стандартизованих міжнародними та європейськими організаціями зі стандартизації методів випробування та вимог щодо корозійної активності летких продуктів згоряння полімерної продукції. Визначено основні чинники, що впливають на склад і кількість цих продуктів, та сформульовані задачі досліджень.

*Ключові слова:* випробування, корозійна активність, леткі продукти згоряння, полімерна продукція, пожежна безпека.

*R. Kravchenko, Cand. of Sc. (Eng.), P. Illyuchenko*

## **ANALYSIS REQUIREMENTS AND TEST METHODS ON CORROSION ACTIVITY VOLATILE PRODUCTS COMBUSTION POLYMER PRODUCTS**

An analysis of standardized international and European organizations for standardization test methods and requirements for corrosion activity of volatile combustion products of polymeric products. The main factors that influence the composition and quantity of these products, and formulated the problem of research.

*Keywords:* testing, corrosion activity, volatile combustion products, polymer products, fire safety.

За статистичними даними в Україні протягом 2007 – 2011 рр. трапилося 264075 пожеж, від яких прямі матеріальні збитки склали 2,972 млрд. грн., а побічні – 6,723 млрд. грн. Протягом цього періоду для електротехнічних виробів зазначені показники становили відповідно 56798 пожеж (22 % від загальної кількості пожеж) і 1,032 млрд. грн. (35 %) та 1,858 млрд. грн. (28 %). Серед електротехнічних виробів за кількістю пожеж та їхніми наслідками перше місце посідає кабельна продукція. Протягом зазначеного періоду від цих виробів виникло 37572 пожеж, від яких прямі та побічні збитки склали відповідно 817 млн. грн. та 1342 млн. грн.

У роботі «Аналіз загальних настанов щодо оцінювання корозійної активності летких продуктів згоряння полімерної продукції» [1] визначено, що високий рівень збитків від пожеж може бути пов'язаний із застосуванням недосконалих методів оцінки корозійної активності летких продуктів згоряння полімерних матеріалів і виробів. Вихідними даними для цієї оцінки є результати, отримані із застосуванням стандартизованих методів випробування, які мають задовольняти встановленим рівням пожежної безпеки. У зв'язку з цим метою цієї роботи є визначення чинників, які можуть вплинути на достовірність результатів оцінки корозійної активності летких продуктів згоряння полімерної продукції.

Міжнародними та європейськими організаціями із стандартизації для цих цілей передбачено застосування прямих та непрямих, стаціонарних та динамічних методів випробування [2 – 4].

Найбільш об'єктивні результати отримують із застосуванням прямих методів. Ці методи передбачають експозицію летким продуктам згоряння готових виробів. Але через різноманітність виробів та їхнього конструктивного виконання експозиції летким продуктам згоряння прийнято піддавати стандартизовані мішені – імітатори виробів. У якості мішеней прийнято застосовувати спеціальні друковані плати.

Прямі методи випробування розроблено Міжнародними організаціями із стандартизації

(ISO та IEC), і вони призначені для випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння пластмасової та електротехнічної продукції. Причому для випробування пластмасової продукції передбачено використання статичного і динамічних (із застосуванням проточної та корозиметричної систем) методів, а електротехнічної продукції – лише динамічного методу із застосуванням проточної системи.

Згідно зі статичним методом, встановленим в ISO 11907-2 [5], випробуванням прийнято піддавати п'ять зразків матеріалу у вигляді гранул чи стружки масою  $(600 \pm 2)$  мг за умови спалювання їх у циліндричній камері об'ємом 20 л та діаметром 300 мм під впливом протягом 3 хв. джерела запалювання – ніхромової спіралі, нагрітої електричним струмом до температури  $(800 \pm 5)$  °C (рисунок 1). Експозиції леткими продуктами згоряння піддають мішень – друковану плату з 36 мідними провідними доріжками, кожна з яких має довжину 52 мм, ширину 0,3 мм, товщину 17 мкм. Мішень повинна мати електричний опір доріжок  $(8,0 \pm 0,5)$  Ом за умови проміжку між ними 0,3 мм. Під час випробування цю мішень розміщують у горизонтальному положенні в камері, в якій підтримується температура та відносна вологість на рівні відповідно  $(50 \pm 2)$  °C і  $(65 \pm 2)$  %. За потреби, з тильної сторони мішень може охолоджуватися деіонізованою водою до температури  $(40 \pm 2)$  °C для збільшення ефективності осідання на її поверхні летких продуктів згоряння.

Під час випробування вимірюють електричний опір мішені на початку випробування ( $R_i$ ), через 60 хв. після витримки в експозиційній камері з леткими продуктами згоряння ( $R_f$ ) та через кожні 24 год. після витримки у камері вологи за відносної вологи 75 % ( $R_x$ ). Корозійне пошкодження оцінюють через відносний електричний опір мішені, виражений у відсотках, який розраховують за формулою [5]:

$$R_{\text{cor}} = 100 \left( \frac{R_i R_x}{8(R_x - R_i)} - 1 \right)^{-1}, \quad (1)$$

де  $R_i$  – електричний опір мішені, виміряний перед експозицією леткими продуктами згоряння, Ом;

$R_x$  – електричний опір мішені, виміряний після експозиції леткими продуктами згоряння та витримки у заданих умовах ( $R_x = R_f$  при  $x = 0$ ,  $R_x = R_{24}$  при  $x = 24$  (год.) тощо), Ом.

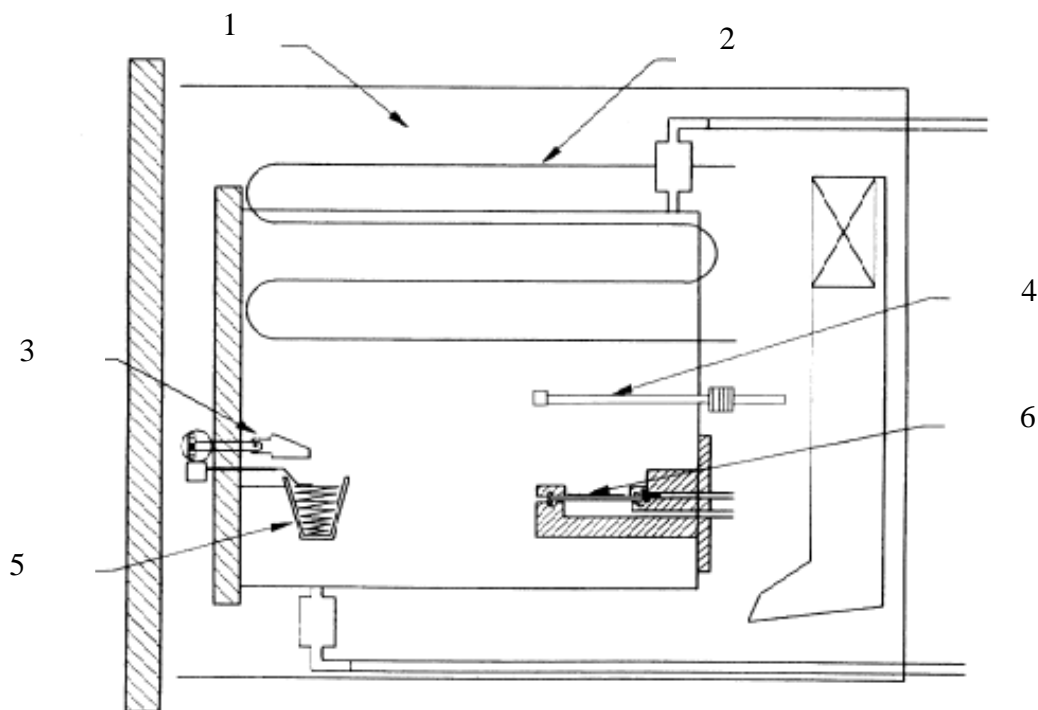


Рисунок 1 – Устаткування для випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння за статичним методом згідно з ISO 11907-2 [5]

1 – внутрішній простір; 2 – пристрій кріплення зразка; 3 – джерело запалювання; 4 – нагрівальний елемент; 5 – термопара; 6 – мішень, яку піддають впливу корозійно-активних летких продуктів згоряння

Розглянутий статичний метод дозволяє імітувати лише стадію пожежі 2 – збагаченого полуменевого горіння (пожежі, що розвивається) [3, 6].

Цю стадію пожежі та стадії пожежі безполуменевого горіння і збідненого полуменевого горіння дозволяють імітувати динамічні методи випробування, тому ці методи є рекомендованими до застосування.

Згідно з динамічним методом, який встановлений в ISO 11907-4 [7] випробуванням прийнято піддавати п'ять зразків матеріалу плоскої форми розміром 100 мм × 100 мм та товщиною до 12 мм із застосуванням кінцевого корозиметра – модернізованого кінцевого калориметра згідно з ISO 5660-1 [8] (рисунок 2). Рекомендованою є товщина 6 мм. Якщо зразки мають круглу форму, то їх набирають до досягнення загальної ширини приблизно 100 мм. Зразки піддають впливу теплового потоку  $50 \text{ кВт/м}^2$  протягом 60 хв. або до досягнення 70 % втрати маси зразка за швидкості потоку летких продуктів згоряння у витяжному повітроводі  $(0,024 \pm 0,002) \text{ м}^3/\text{с}$ . За необхідності може бути обране інше значення теплового потоку в межах від  $25 \text{ кВт/м}^2$  до  $100 \text{ кВт/м}^2$ . Експеримент припиняють після досягнення вказаних умов для запобігання значного розбавлення летких продуктів згоряння повітрям. З цією ціллю легкі продукти згоряння відбирають на виході з кінцевого нагрівального елемента, а не з витяжного повітроводу кінцевого корозиметра.

Випробування включає два етапи. На першому етапі за даними випробування двох зразків визначають середню втрату маси зразків. На другому етапі за даними випробування трьох зразків визначають електричний опір та товщину провідників мішені

(модель 030788-S0.35-8061 з товщиною мідних доріжок 250 нм або 4500 нм виробництва Rohrback Cosasco), а саме, на початку випробування, через 60 хв. після витримки в експозиційній камері об'ємом  $(0,0112 \pm 0,0005) \text{ м}^3$ , через яку потік летких продуктів згоряння пропускають зі швидкістю 4,5 л/хв. та яка в 320 разів менша за загальної швидкості потоку летких продуктів згоряння, та через 24 год. після витримки в камері вологи за температури  $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  і відносної вологості  $(75 \pm 5) \%$ .

Розглянутий метод дозволяє імітувати стадії пожежі 1b, 2, 3b [3, 6], але основною вадою цього методу є те, що не контролюється концентрація кисню у відібраних продуктах згоряння.

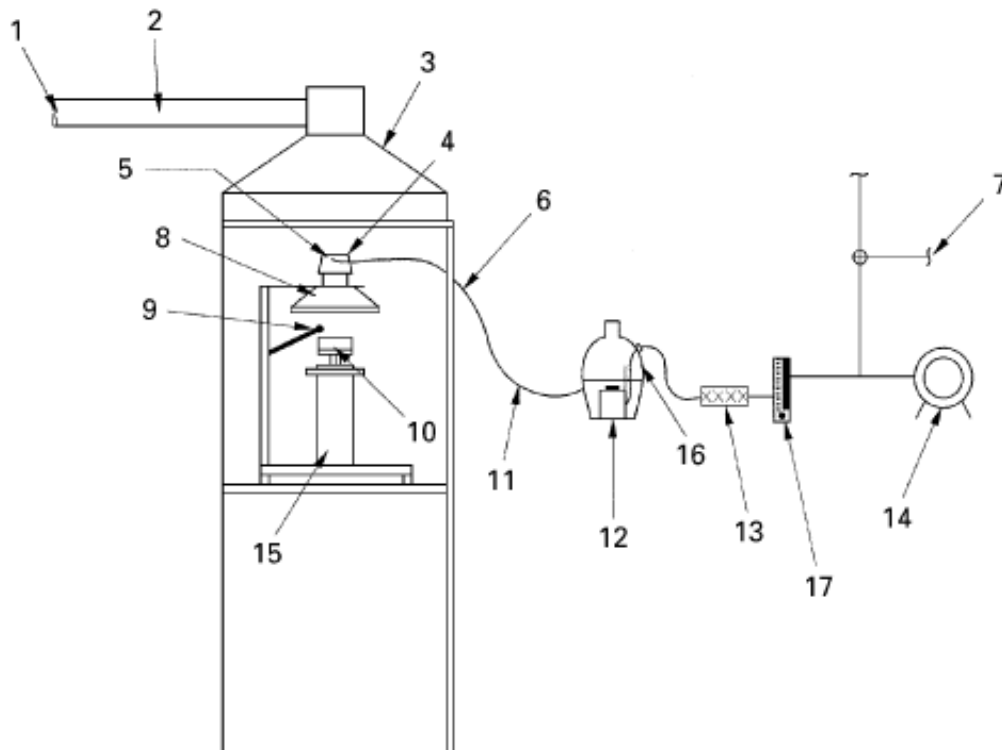


Рисунок 2 – Устаткування для випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння за динамічним методом (конічний корозиметр) згідно з ISO 11907-4 [7]

1 – до витяжного вентилятора; 2 – витяжний повітровід; 3 – витяжний зонд; 4 – пристрій відбирання газів; 5 – штуцер для відбору газів; 6 – термостійка трубка з неіржавної сталі; 7 – приплив атмосферного повітря; 8 – випромінювальний конусний нагрівач; 9 – запалювальна свічка; 10 – випробний зразок; 11 – потік повітря зі швидкістю переміщення  $4,5 \text{ л} \cdot \text{хв}^{-1}$ ; 12 – мішень, яку піддають впливу корозійно-активних летких продуктів згоряння, пристрій кріплення мішені та димовий екран; 13 – фільтр; 14 – насос; 15 – тензодатчик; 16 – експозиційна камера об'ємом 11,2 л; 17 – витратомір.

Інший динамічний метод, але який реалізується із застосуванням проточної системи, встановлений в ISO 19704-3 [9]. Згідно з цим стандартом випробуванням у кожному випробувальному режимі прийнято піддавати три зразки матеріалу масою приблизно 4,8 г, довжиною 400 мм і шириною 15 мм. За густини матеріалу  $400 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$  і більше товщина зразка становить 2 мм. У разі застосування матеріалів з меншою густиною довжину зразка визначають із застосуванням залежності  $m/l = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ (г/мм)}$ .

Для спалювання зразків та експозиції мішеней летким продуктам згоряння використовують устаткування (рисунок 3), основним елементом якого є рухома піч довжиною  $(100 \pm 1) \text{ мм}$ , яку застосовують для випробування пластмасових виробів на

токсичність летких продуктів згоряння згідно з DIN 53436-1. Зразок розміщують у човнику довжиною від 400 мм до 410 мм, шириною  $(32 \pm 1)$  мм і глибиною  $(15 \pm 1)$  мм, виготовленого з кварцового скла завтовшки  $(1,7 \pm 0,2)$  мм, який із зразком розміщують всередині кварцової трубки печі так, щоб кінець човника був на рівні переднього краю печі, задній край якої має бути на відстані 400 мм від кінця кварцової трубки. Піч має забезпечувати максимальну випробувальну температуру, що дорівнює  $(600 \pm 20)$  °C або іншому значенню, обраного залежно від стадії пожежі, що імітують, та рухатися зі швидкістю  $(10,0 \pm 0,5)$  мм/хв. вздовж кварцової трубки довжиною від 1000 мм до 1300 мм, зовнішнім діаметром  $(40 \pm 1)$  мм і товщиною стінки  $(2,0 \pm 0,5)$  мм, в яку подається повітря зі швидкістю  $(100 \pm 5)$  л/год. у напрямку, протилежному руху печі.

За вказаних умов швидкість втрати маси зразка та масова швидкість подавання кисню становлять відповідно 120 мг/хв. і 464 мг/хв., а співвідношення між цими характеристиками – 0,258.

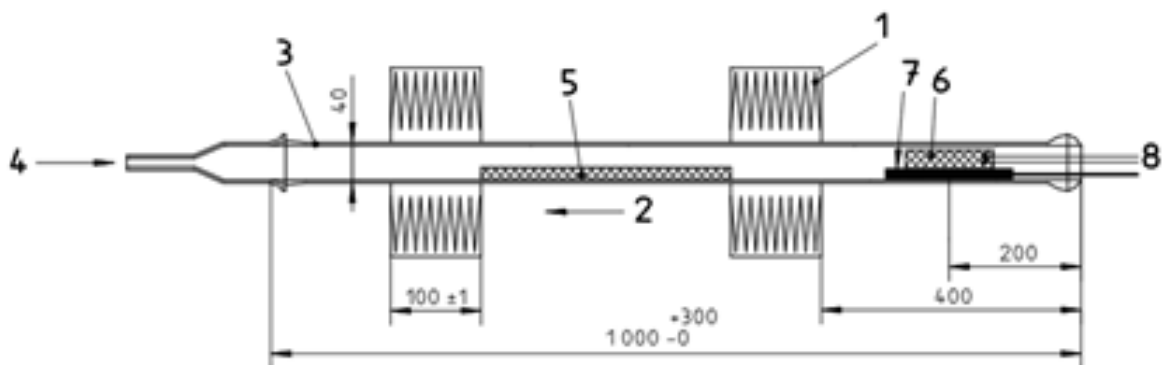


Рисунок 3 – Устаткування для випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння за динамічним методом (рухома піч) згідно з ISO 11907-3 [9]

1 – трубчаста піч; 2 – напрямок руху печі; 3 – кварцова трубка; 4 – первинний потік повітря; 5 – випробний зразок; 6 – мішень, яку піддають впливу корозійно-активних летких продуктів згоряння; 7 – крипільний пристрій (охолоджувач); 8 – омметр.

Експозиції летким продуктам згоряння піддають три мішені, аналогічні тим, що застосовують при реалізації статичного методу, які розміщують вертикально всередині кварцової трубки печі так, щоб відстань між їхніми центрами і кінцем кварцової трубки становила 200 мм. За необхідності, додаткові мішені можуть бути розміщені в портах експозиційної камери, яка складається з двох циліндрів зовнішнього і внутрішнього діаметром відповідно 290 мм і 210 мм та висотою відповідно 290 мм і 240 мм, простір між якими об'ємом від 11 л до 12 л заповнюється леткими продуктами згоряння, 40 % з яких подається у порти з розміщеними з них мішенями. Для розбавлення летких продуктів згоряння з метою регулювання ступеню корозії мішеней на виході з пічної трубки може подаватися вторинне повітря. Результати випробування оцінюють аналогічно ISO 11907-2 [5].

Крім зазначеного, метод передбачає можливість експозиції корозійно-активними леткими продуктами згоряння мішеней втрати маси у вигляді пластин довжиною 60 мм, шириною 20 мм та товщиною 0,7 мм або 1 мм, виготовлених з чавуну, сталі, міді, алюмінію чи цинку. За даними випробування цих мішеней визначають збільшення або зменшення маси на одиниці площі, зменшення товщини та швидкість втрати маси на одиниці площі.

Розглянутий метод дозволяє імітувати стадії пожежі 1b, 1c, 2, 3a, 3b [3, 6], але не конкретизує умов, за яких це забезпечується.

Динамічний метод випробування із застосуванням проточної системи, але в якій піч є не рухомою, встановлений в ІЕС/TS 60695-5-3 [10] і призначений для випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння електротехнічної продукції. Згідно з цим нормативним документом зразки масою  $(1,0 \pm 0,05)$  г розміщують у фарфоровому човнику довжиною 97 мм, шириною 16 мм і глибиною 10 мм та піддають спалюванню у трубчастій печі (рисунок 4), яка має довжину від 500 мм до 600 мм та діаметр кварцової трубки  $(47,5 \pm 1,0)$  мм, у випробувальних режимах, наданих в таблиці 1, протягом  $(30,0 \pm 0,5)$  хв.

З кварцової трубки печі продукти леткі згоряння поступають в експозиційну камеру розміром  $310 \text{ мм} \times 310 \text{ мм} \times 340 \text{ мм}$ , об'єм якої становить приблизно 33 л. Для запобігання конденсації летких продуктів згоряння на кварцовій трубці її на виході підігрівають до  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Під час одного експерименту експозиції піддають три мішені втрати маси або одну з мішеней електричного опору за ISO 11907 [5, 7]. Крім цих мішеней експозиції в одному експерименті можуть піддавати дві мішені струму витoku – друковані плати з 40 ізоляційними проміжками  $(0,32 \pm 0,02)$  мм між мідними провідними доріжками шириною  $(0,32 \pm 0,02)$  мм і товщиною 0,018 мм. Всього проводять три експерименти.

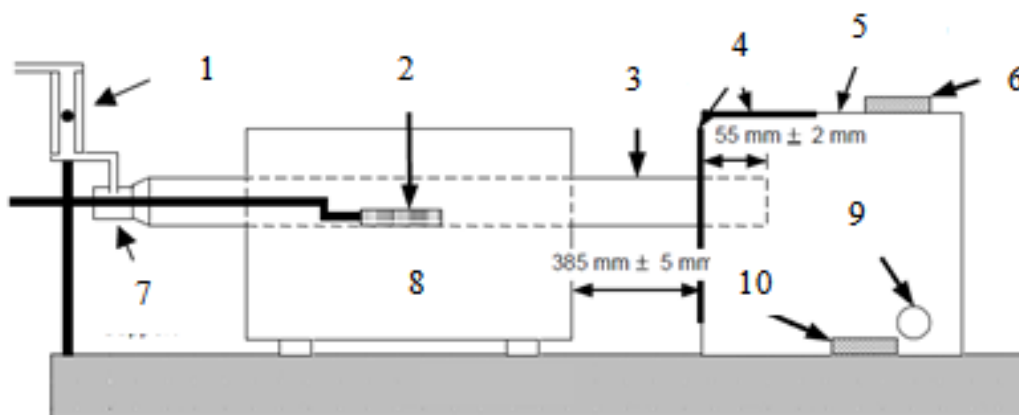


Рисунок 4 – Устаткування для випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння за динамічним методом (нерухома піч) згідно з ІЕС/TS 60695-5-3 [10]

1 – витратомір; 2 – човник із зразком; 3 – кварцова пічна трубка; 4 – сталева пластина; 5 – експозиційна камера; 6 – запобіжна кришка на випадок вибуху; 7 – торцева заглушка; 8 – електрична трубчаста піч; 9 – вихідний порт; 10 – мішень, яку піддають впливу корозійно-активних летких продуктів згоряння.

Таблиця 1 – Умови спалювання зразків згідно з ІЕС/TS 60695-5-3 [10] та ISO/TS 19700 [12]

Стадія пожежі	Температура, $^\circ\text{C}$		Швидкість втрати маси ( $\Delta\dot{m}$ ), мг/хв		Витрата повітря ( $\dot{V}$ ), л/хв		$\frac{\Delta\dot{m}}{279\dot{V}}$	
	ІЕС/TS 60695-5-3	ISO/TS 19700	ІЕС/TS 60695-5-3	ISO/TS 19700	ІЕС/TS 60695-5-3	ISO/TS 19700	ІЕС/TS 60695-5-3	ISO/TS 19700
1b	350	350	33,3	1000	5,0	2	0,024	1,79
2	650	650	33,3	1000	5,0	10	0,024	0,36
3a	-	650	-	1000	-	3,5 – 6,0	-	0,6 – 1,0
3b	935	825	33,3	1000	0,5	3,5 – 6,0	0,240	0,6 – 1,0

У разі застосування мішеней струму витоку дві мішені після експозиції та одну мішень, яку не піддавали експозиції, витримують протягом 24 год. в ексікаторі за відносної вологості 10 %. Після цього відносну вологість збільшують до 30 % і протягом 5 хв. вимірюють струм витоку кожної мішені під постійною напругою 50 В. Далі відносну вологість збільшують з кроком 10 % до 90 %, вимірюючи струм витоку на кожній ступені. За даними вимірювань визначають логарифм приведенного струму витоку мішені за формулою [10]:

$$\lg I_A = \lg[(I - I_{\text{ref}})/A], \quad (2)$$

де  $I$  – середнє геометричне значення струму витоку, розраховане за даними вимірювання шести мішеней, що піддавали експозиції летким продуктам згоряння, мкА;

$I_{\text{ref}}$  – середнє геометричне значення струму витоку, розраховане за даними вимірювання трьох мішеней, що не піддавали експозиції летким продуктам згоряння, мкА;

$A$  – відносна вологість, %.

За даними випробування будують залежність  $\lg I_A = f(A)$ .

Слід відзначити, що в ІЕС/ТС 60695-5-3 [10] не визначено вимоги щодо допустимого струму витоку мішеней, хоча в технічному звіті Міжнародної електротехнічної комісії [11] зазначено, що значення цього струму не повинно перевищувати 1 мкА.

Розглянутий метод за умовами спалювання зразків є більш досконалим порівняно з установленим у ISO 11907-3 [9]. Але основним недоліком цього методу є те, що не контролюється втрата маси зразка.

Трубчасту піч та експозиційну камеру, подібні до визначених в ІЕС/ТС 60695-5-3 [10], застосовують для випробування на токсичність летких продуктів згоряння полімерної продукції згідно з ISO/TS 19700 [12]. Цей стандарт розроблено з урахуванням нової редакції стадій пожежі [6], і умови спалювання зразків за методом, установленим цим стандартом, дозволяють імітувати більшу кількість стадій пожежі (таблиця 1). Важливою особливістю цього методу є контролювання коефіцієнту еквівалентності шляхом забезпечення постійної швидкості подавання зразка і повітря в зону горіння. Для цих цілей застосовують піч довжиною від 500 мм до 800 мм, кварцову трубку довжиною 1600 мм та човник для розміщення зразка довжиною 800 мм і глибиною  $(18 \pm 1)$  мм, виготовлений з кварцової трубки діаметром  $(41 \pm 1)$  мм.

Розглянуті прямі методи випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння не знайшли поки ще широкого застосування для оцінювання відповідності вимогам пожежної безпеки полімерної продукції. Причиною цьому є не нормування критичних значень показників, які характеризують корозійне пошкодження мішеней, використання різних умов спалювання зразків продукції та конструкцій мішеней, що залишає не вирішеною проблему достовірності та відтворюваності результатів випробування. У зв'язку з цим широко застосовними на практиці залишаються непрямі методи оцінки корозійної активності летких продуктів згоряння полімерної продукції.

На цей час непрямі методи застосовують для оцінювання корозійної активності летких продуктів згоряння елементів систем електропроводки: кабелів і проводів, кабельних трубопроводів, коробів, лотоків і драбин та гнучких трубчастих оболонок [13-18].

Широко застосовними у більшості країнах, у тому числі в Україні, є методи визначення виходу хлороводню та водневого показника рН і питомої електропровідності розчинених летких продуктів згоряння згідно з ІЕС 60754-1 [13] і ІЕС 60754-2 [14], попередній редакції яких відповідають ДСТУ ІЕС 60754-1:2002 і ДСТУ ІЕС 60754-2:2006, та які встановлені також в серії європейських стандартів EN 50267. Ці методи реалізують із застосуванням проточної випробувальної системи, яка складається з нерухокої печі довжиною від 480 мм до 620 мм та кварцової трубки печі з внутрішнім діаметром від 30 мм до 46 мм. Швидкість повітря, що подається в цю трубку, має становити  $20 \text{ мл} \cdot \text{мм}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ . Внутрішньому діаметру трубки 43,5 мм відповідає швидкість потоку повітря 0,5 л/хв. Для розміщення зразка використовують фарфоровий, кварцовий або стеотитний човник довжиною від 45 мм до

100 мм, шириною від 12 мм до 30 мм та глибиною від 5 мм до 10 мм. Для збору корозійно-активних летких продуктів згоряння використовують дві промивалки, перша з яких оснащена магнітною мішалкою. Леткі продукти згоряння у мішалки поступають з трубок з внутрішнім діаметром до 5 мм. За вказаних даних швидкість повітря у цій трубці становить  $1,5 \text{ л} \cdot \text{мм}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ .

Згідно з ІЕС 60754-1 [13] зразок матеріалу масою від  $(750 \pm 250)$  мг спалюють за температури, яку збільшують протягом  $(40 \pm 5)$  хв. зі швидкістю  $20 \text{ км/хв.}$  до  $(800 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C}$  і підтримують на цьому рівні протягом  $(20 \pm 1)$  хв. Леткі продукти згоряння розчинюють у рідині, яка містить  $0,1 \text{ M}$  розчину гідроксиду натрію. Об'єм розчину в кожній промивалці має становити не менше ніж  $220 \text{ мл}$ . Після випробування розчин з леткими продуктами згоряння розбавляють дистильованою або демінералізованою водою до об'єму  $1000 \text{ мл}$  і з цього об'єму  $200 \text{ мл}$  розчину піддають аналітичним дослідженням, за результатами яких визначають вихід хлороводню. За результат обирають середнє значення даних випробування двох зразків, якщо різниця між цими даними не перевищує  $10 \%$ . Якщо вихід хлороводню менше ніж  $5 \text{ мг/г}$  ( $0,5 \%$ ), то корозійну активність летких продуктів згоряння оцінюють за методом згідно з ІЕС 60754-2 [14].

За цим методом зразок матеріалу масою  $(1000 \pm 5)$  мг спалюють протягом  $(30 \pm 1)$  хв. за температури від  $935 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $965 \text{ }^\circ\text{C}$ . Леткі продукти згоряння розчинюють у дистильованій або демінералізованій воді. Об'єм води в кожній промивалці має становити не менше ніж  $450 \text{ мл}$ . Після випробування розчин з леткими продуктами згоряння розбавляють дистильованою або демінералізованою водою до об'єму  $1000 \text{ мл}$  і вимірюють рН та електропровідність цього розчину. За даними випробування трьох зразків або, якщо коефіцієнт варіації більше ніж  $5 \%$ , шести зразків визначають середні значення рН та питомої електропровідності, які мають бути відповідно не менше ніж  $4,3$  та не більше ніж  $10 \text{ мкСм/мм}$ .

Якщо виріб складається з декількох матеріалів, водневий показник рН та питому електропровідність обчислюють за формулою [14]:

$$\text{pH} = \lg \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{10^{\text{pH}_i}}}; \quad (3)$$

$$c = \frac{\sum c_i m_i}{\sum m_i}, \quad (4)$$

де  $m_i$  – маса  $i$ -го неметалевого матеріалу (елементу) виробу, г;

$\text{pH}_i$  – водневий показник розчину з леткими продуктами згоряння  $i$ -го неметалевого матеріалу (елементу) виробу;

$c_i$  – питома електропровідність розчину з леткими продуктами згоряння  $i$ -го неметалевого матеріалу (елементу) виробу,  $\text{мкСм/мм}$ .

Подібний метод, за яким одночасно визначають вихід хлороводню, водневий показник рН та питому електропровідність встановлений для кабелів, призначених для експлуатації на електростанціях, в НД 605 [15]. Але цей метод має такі основні відмінності.

Для випробування зразків застосовують трубчасту піч довжиною  $300 \text{ мм}$ , кварцові пічну трубку з внутрішнім діаметром  $36 \text{ мм}$  і довжиною  $350 \text{ мм}$  та вихідну трубку з внутрішнім діаметром  $10 \text{ мм}$  і довжиною  $250 \text{ мм}$ . Вихідну трубку підігрівають до температури  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  для запобігання конденсації на її стінках летких продуктів згоряння. Для розміщення зразка застосовують човник довжиною  $75 \text{ мм}$ , шириною  $12 \text{ мм}$  і глибиною  $8 \text{ мм}$ . Для збору корозійно-активних летких продуктів згоряння використовують три промивалки, перша з яких оснащена магнітною мішалкою та електродами вимірювання вказаних характеристик.

Зразок спалюють за температурного режиму згідно з ІЕС 60754-1 [13] та швидкості потоку повітря  $0,24 \text{ л/хв.}$  За цих даних швидкість повітря у пічній та вихідній трубках



становить відповідно 14 мл·мм<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> та 183 мл·мм<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>.

За даними випробування двох зразків або чотирьох зразків, якщо різниця між виходом хлороводню або рН, або питомої електропровідності більше ніж відповідно 0,2 мг·г<sup>-1</sup>; 0,5; 40 мкСм·мм<sup>-1</sup>, розраховують середні значення виходу хлороводню, рН та питомої електропровідності. Якщо маса випробуваних зразків (*m*) була іншою, ніж 1 г, то значення виходу хлороводню і питомої електропровідності кожного зразка ділять на масу зразка, а до значення рН додають lg*m*.

Якщо виріб складається з декількох матеріалів, вихід хлороводню обчислюють за формулою [15]:

$$Y = \frac{\sum Y_i m_i}{\sum m_i}, \quad (5)$$

де  $Y_i$  – вихід хлороводню під час згоряння *i*-го неметалевого матеріалу (елементу) виробу, мг/г.

За формулою (5) прийнято визначати кількість хлороводню для кабелів і проводів згідно з ДСТУ 4809 [16].

Загальні вимоги щодо корозійної активності летких продуктів згоряння, яким мають відповідати кабелі та проводи, такі:  $Y \leq 5 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$  (0,5 %);  $\text{pH} \geq 4,3$ ;  $c \leq 10 \text{ мкСм} \cdot \text{мм}^{-1}$ .

У стандартах на певні марки кабелів, наприклад згідно з EN 50525-1 [17], визначено більш досконалу програму випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння цих виробів, яку надано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Програма випробування кабелів на корозійну активність летких продуктів згоряння згідно з EN 50525-1 [17]

Номер етапу	Метод випробування	Показники, які визначають	Результат	Правила прийняття рішення
0	EN 50525-1, додаток С	Виявлення можливості утворення під час згоряння галогеноводнів: HF, HCl, HBr	Негативний	Матеріал вважають придатним до застосування за призначенням
1	EN 50267-2-2, EN 50267-2-3, IEC 60754-2	Водневий показник рН	$\text{pH} < 4,3$	Матеріал вважають не придатним до застосування
			$\text{pH} \geq 4,3$	Оцінюють електропровідність
		Питома електропровідність, мкСм·мм <sup>-1</sup>	$c > 10$	Матеріал вважають не придатним до застосування
			$2,5 < c \leq 10$	Виконують етап 2
2	EN 50267-2-1, IEC 60754-1	Вихід HCl (HCl та HBr), мг·г <sup>-1</sup> (%)	$Y > 5$ (0,5)	Матеріал вважають не придатним до застосування
			$Y \leq 5$ (0,5)	Виконують етап 3
3	EN 60684-2, IEC 60684-2	Вихід HF, мг·г <sup>-1</sup> (%)	$Y > 1$ (0,1)	Матеріал вважають не придатним до застосування
			$Y \leq 1$ (0,1)	Матеріал вважають придатним до застосування за призначенням

Згідно з ІЕС 60684-2 [18] зразок матеріалу масою від 25 мг до 30 мг, розміщений у кисневому балоні об'ємом 1 л, змашують 2 чи 3 краплинами додеканола і 5 мл 0,5 М розчину гідроксиду натрію та піддають спалюванню. Після конденсації летких продуктів згоряння отриману суміш розміщують у 50 мл посуді та із застосуванням методу йонно-селективного електроду фтороводню або методу блакитного алізаринового фтору визначають вихід фтороводню.

На підставі аналізу вимог та методів випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння полімерної продукції можна зробити такі висновки.

1. Корозійну активність летких продуктів згоряння полімерної продукції на практиці оцінюють за показником виходу цих продуктів, який характеризує лише їхній корозійно-активний потенціал. Для оцінювання небезпеки корозійного пошкодження цей показник має бути взаємопов'язаний з втратою маси полімерної продукції. У зв'язку з цим встановлені вимоги щодо корозійної активності летких продуктів згоряння є недостатніми для гарантування того, що при згорянні полімерної продукції у реальних умовах не відбуватиметься небажане корозійне пошкодження оточуючих об'єктів. Для забезпечення пожежної безпеки треба визначити допустимі рівні щодо корозійного пошкодження об'єктів з урахуванням маси продукції, що згоряє.

2. Кількість методів випробування на корозійну активність летких продуктів згоряння полімерної продукції має бути зменшена до мінімуму. Найбільш придатними для оцінки корозійного пошкодження об'єктів від летких продуктів згоряння з урахуванням рекомендацій міжнародних організацій зі стандартизації [3] є методи випробування із застосуванням конічного корозиметра для продукції, яка має плоску форму, та проточних систем для іншої продукції.

Із запровадження міжнародними організаціями зі стандартизації нової редакції стадій доцільним є проведення досліджень з визначення впливу температури та масової швидкості потоку повітря в зоні горіння зразків полімерної продукції на склад та кількість корозійно-активних летких продуктів згоряння.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравченко Р.І. Аналіз загальних настанов щодо оцінювання корозійної активності летких продуктів згоряння полімерної продукції: Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки, 2010, № 1 (21) – К.: УкрНДІПБ МНС України, 2010. – С. 52-59.
2. Fire hazard testing – Part 5-1: Corrosion damage effects of fire effluent – General guidance / IEC 60695-5-1, Ed. 2.0, 2002. – 35 p.
3. Fire hazard testing – Part 5-2: Corrosion damage effects of fire effluent – Summary and relevance of test methods / IEC 60695-5-2, Ed. 2.0, 2002. – 53 p.
4. Plastics – Smoke generation – Determination of the corrosivity of fire effluents – Part 1: Guidance / ISO 11907-1, Ed. 1.0, 1998. – 6 p.
5. Plastics – Smoke generation – Determination of the corrosivity of fire effluents – Part 2: Static method / ISO 11907-2, Ed. 1.0, 1995. – 12 p.
6. Guidelines for assessing the fire threat to people / ISO 19706, Ed. 2.0, 2011. – 12 p.
7. Plastics – Smoke generation – Determination of the corrosivity of fire effluents – Part 4: Dynamic decomposition method using a conical radiant heater / ISO 11907-4, Ed. 1.0, 1998. – 22 p.
8. Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) / ISO 5660-1, Ed. 2.0, 2002. – 39 p.

9. Plastics – Smoke generation – Determination of the corrosivity of fire effluents – Part 3: Dynamic decomposition method using a travelling furnace / ISO 11907-3 Ed. 1.0, 1998. – 19 p.
10. Fire hazard testing – Part 5-3: Corrosion damage effects of fire effluent – Leakage-current and metal-loss test method / IEC/TS 60695-5-3, Ed. 1.0, 2003. – 53 p.
11. Fire performance of communication cables in buildings / IEC/TR 62222, Ed. 1.0, 2005. – 34 p.
12. Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents / ISO/TS 19700, Ed. 1.0, 2007. – 34 p.
13. Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 1: Determination of the halogen acid gas content / IEC 60754-1, Ed. 3.0, 2011. – 41 p.
14. Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 2: Determination of acidity (by pH measurement) and conductivity / IEC 60754-2, Ed. 3.0, 2011. – 40 p.
15. Electric cables – Additional test methods / HD 605 S2, 2008. – 157-162 pp.
16. 16 ДСТУ 4809:2007 Ізольовані проводи та кабелі. Вимоги пожежної безпеки та методи випробування. – Чинний від 2008-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 14 с.
17. Electric cables – Low voltage energy cables of rated voltages up to and including 450/750 V – Part 1: General requirements / EN 50525-1, 2011. – 30 p.
18. Flexible insulating sleeving – Part 2: Methods of test / IEC 60684-2, Ed. 3.0, 2011. – 167 p.

