



НАУКОВИЙ ВІСНИК: Цивільний захист та пожежна безпека

№ 1 (13), 2022

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2518-1777

Редакційна колегія:

головний редактор –
голова редколегії
д-р техн. наук

Поздєєв С. В.

заступник
головного редактора
канд. техн. наук

Коваленко В. В.

відповідальний секретар
канд. техн. наук

Огурцов С. Ю.

д-р техн. наук
д-р техн. наук
д-р техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. техн. наук
канд. хім. наук
PhDEng.

Тютюнник В. В.
Цапко Ю. В.
Ніжник В. В.
Лавренюк О. І.
Лоїк В. Б.
Кропивницький В. С.
Новак С. В.
Пазен О. Ю.
Паснак І. В.
Сізіков О. О.
Ліхньовський Р. В.
Врублевський Д.

PhDEng.

Самберг А.

Літературні
редактори:

Помазанова Т. І.
(укр. мова)
Івашина Н. О.
(англ. мова)

Випусковий редактор

Борисова А. С.

Адреса редакції:

04074, м. Київ, вул. Вишгородська, 21

Телефони:

(+380) (44) 430-02-85

<https://nvcz.undicz.org.ua>

e-mail: niv1966@ukr.net

Заснований у 2016 році
Виходить 2 рази на рік

Засновник

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ)

Видавець

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ)

Журнал зареєстровано Міністерством
юстиції України
Свідоцтво від 20.07.2020
серія КВ № 24507-14447 ПР

Журнал включено до категорії «Б» Переліку
наукових фахових видань України в галузі
технічних наук за спеціальностями:
261 «Пожежна безпека»
263 «Цивільний захист»
Наказ Міністерства освіти і науки України від
02.07.2020 № 886
У разі передрукування матеріалів письмовий
дозвіл ІДУ НД ЦЗ є обов'язковим
Рекомендовано до видання рішенням
Вченої ради ІДУ НД ЦЗ

Протокол від 27. 06.2022 № 7

Ідентифікатор випуску DOI:
<https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.1>

Підписано до друку 27.06.2022

Формат 60 × 84/8

Наклад 50 прим.

**А. Одинець, В. Ніжник, О. Сізіков,
Ю. Фещук, Я. Балло, Р. Климась,
О. Жихарєв**

Обґрунтування додаткових заходів щодо оперативних дій під час гасіння пожеж на складах нафтопродуктів в умовах бойових дій

72

A. Odinets, V. Nizhnyk, O. Sizikov, Yu. Feshchuk, Ya. Ballo, R. Klymas, O. Zhikharev

Justification of additional measures for operational actions during fire extinguishing in petroleum products warehouses in conditions of combat

**В.-П. Пархоменко, П. Борисяк,
О. Лавренюк, Б. Михалічко**
Технологія вогнезахисту деревини покриттями на основі модифікованих епоксіамінних композицій

80

V.-P. Parkhomenko, P. Borysiak, O. Lavrenyuk, B. Mykhalichko
Technology of fire protection of wood with coatings based on modified epoxy-amine composites

**С. Новак, В. Дріжд, О. Добростан,
М. Новак**

Вплив теплофізичних властивостей вогнезахисних матеріалів на тепловий стан сталевих колон за стандартного температурного режиму

88

S. Novak, V. Drizhd, O. Dobrostan, M. Novak

Influence of thermophysical characteristics of fire-retardant materials on the thermal state of steel columns under standard temperature regime

УДК 614.841

ТЕХНОЛОГІЯ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ПОКРИТТЯМИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ЕПОКСІАМІННИХ КОМПОЗИЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.1.80-87>

Пархоменко В.-П. О. ORCID iD 0000-0001-7431-4801

Борисяк П. Б.

Лавренюк О. І.* ORCID iD 0000-0003-4509-2896

Михалічко Б. М. ORCID iD 0000-0002-5583-9992

*E-mail: olaw@ukr.net

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 02.06.2022

Пройшла рецензування: 13.06.2022

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

епоксіамінні композиції; купрум(II) гексафлуорсилікат; деревина
деревина; вогнезахисні покриття;
вогнезахисна ефективність

АНОТАЦІЯ

Наведено результати розроблення технології отримання і нанесення вогнезахисного покриття для деревини на основі епоксіамінних композицій, модифікованих CuSiF_6 , та здійснена оцінка його вогнезахисної ефективності. Встановлено, що модифікування епоксіамінних композицій купрум(II) гексафлуорсилікатом призводить до підвищення температур займання та самозаймання на 28°C та 52°C відповідно, стрімкого зниження показників групи горючості та переводить їх з групи горючих матеріалів середньої займистості в групу важкогорючих. Завдяки введенню антипірену в епоксіамінну композицію суттєво знижується коефіцієнт димоутворення в режимі горіння та тління, що гарантує можливість отримання матеріалів з помірно димоутворювальною здатністю. Експериментальне дослідження особливостей поширення полум'я поверхнею зразків епоксиполімерних матеріалів засвідчило, що купрумвмісні композиції не поширюють полум'я і належать до найвищої категорії стійкості до горіння V-0. Отримані покриття на основі модифікованих композицій за вогнезахисною ефективністю належать до I групи.

Постановка проблеми. Поєднання високих фізико-механічних та експлуатаційних властивостей зумовлює широке використання деревини як будівельного матеріалу. Проте цей матеріал горючий та повністю знищується вогнем за короткий проміжок часу. Для підвищення пожежної безпеки деревини, унеможливлення її займання від джерел запалювання низької потужності, зниження швидкості поширення полум'я поверхнею деревини, запобігання поширенню полум'я по поверхні дерев'яних конструкцій на різних етапах пожежі проводять вогнезахисну обробку [1–2].

З метою підвищення вогнестійкості деревини використовують лаки, фарби, штукатурки, обмазки, плівкові покриття, вогнестійкі панелі, листи, плити тощо [3–5]. Втім, найпоширенішими є вогнезахисні просочення та вогнезахисні покриття на основі органічних зв'язувальних. Поверхневе просочення – це дуже простий спосіб вогнезахисту деревини, однак недостатньо ефективний. Просочувальні вогнезахисні речовини з часом легко вимиваються з поверхні деревини, не стійкі до атмосферних впливів і можуть застосовуватися лише в приміщеннях, вологість в яких не перевищує 70%. Більш ефективним є

глибоке просочення, але високий ступінь вогнезахисту досягається лише за умови значного поглинання антипіренів. Це значно ускладнює технологічний процес вогнезахисту та негативно відображається на властивостях деревини, наприклад, збільшується її маса, крихкість та гігроскопічність.

Нанесення вогнезахисних покриттів гарантує отримання важкозаймистої або важкорючої деревини. Механізм дії вогнезахисних покриттів полягає в зміні процесу розкладу целюлозного матеріалу в твердій фазі та запобіганні окисненню продуктів розкладу в газовій фазі. Це дає змогу підвищити вогнестійкість дерев'яних конструкцій до декількох годин [6–7]. З огляду на зазначене дослідження, спрямовані на розроблення нових ефективних рецептур вогнезахисних покриттів для деревини, які б задовольняли сучасні вимоги, є вкрай актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Покриття, які використовують для вогнезахисту деревини, є багатокомпонентними системами, до складу яких входять зв'язувальне, затвердник та антипірен. Як зв'язувальне найчастіше використовують полімери, які здатні вступати в реакції конденсації, зшивання, циклізації, а в процесі їх розкладу утворюються нелеткі карбонізовані продукти. Зважаючи на сукупність адгезійно-міцнісних, технологічних та захисних властивостей, одними з найефективніших є зв'язувальні на основі епоксидних смол. Використання полімерних композицій на основі епоксидних смол для вогнезахисної обробки деревини можливе лише за умови введення антипіренів.

Огляд сучасних світових тенденцій ринку антипіренів свідчить про виняткову перспективність солей перехідних металів [8–9]. Унаслідок незавершеності внутрішніх електронних оболонок перехідні метали схильні до комплексоутворення. Автори робіт досліджували процеси комплексоутворення в системі сіль купруму(II): купрум(II)

сульфат, купрум(II) карбонат, купрум(II) гексафлуорсилікат – амінний затвердник епоксидних смол поліетиленполіамін (*пера*). Встановлено, що внаслідок хімічної взаємодії між сіллю купруму та аміном-затвердником, яка супроводжується появою міцних зв'язків типу Cu–N, утворюються хелатні комплекси. Надалі вони були використані як антипірени-затвердники епоксидних композицій.

Введення солей купруму в епоксіамінні композиції призводить не лише до підвищення їх термостійкості, а й до зниження температури завершення процесу згоряння композиції. Модифіковані композиції порівняно з немодифікованими менш схильні до займання, що відображається в значно вищих показниках температур займання та самозаймання. Ба більше, купрумвмісні композиції взагалі не спроможні займатися від джерел запалювання невисокої потужності, тобто належать до важкогорючих матеріалів. Композиції, які містять згадані антипірени, характеризуються значно нижчим димовиділенням та швидкістю поширення полум'я стосовно композицій без додавання солі *d*-металу. Показово, що завдяки винятковій схильності до комплексоутворення згадані солі купруму(II) спроможні вбудовуватися в структуру полімеру, що гарантує збереження на належному рівні експлуатаційних характеристик матеріалів на основі епоксіамінних композицій [10–11].

Формулювання цілей досліджень. Розроблення технології отримання і нанесення вогнезахисного покриття для деревини на основі епоксіамінних композицій, модифікованих CuSiF_6 , та оцінка його вогнезахисної ефективності.

Методи дослідження. Для отриманих матеріалів на основі епоксіамінних композицій визначали температуру займання та самозаймання відповідно до ДСТУ 8829:2019 (п. 7.8, п. 7.10). Для досліджень готували 10 зразків

циліндричної форми масою 3 г. Групу горючості оцінювали згідно з ДСТУ 8829:2019 (п. 7.3). Випробуванням піддавали зразки розміром 150×60×5 мм. Під час визначення коефіцієнта димоутворення керувались ДСТУ 8829:2019 (п. 7.19), розміри зразків становили 40×40 мм. Швидкість поширення полум'я по поверхні зразків визначали за UL94, використовуючи зразки розміром 125×10×5 мм. Усі підготовлені зразки перед дослідженнями витримували у сушильній шафі за температури 60°C впродовж 20 год. Оцінку вогнезахисної ефективності засобів захисту деревини, яка полягає у визначенні втрати маси деревини, обробленої досліджуваним покриттям під час вогневого випробування в умовах, які сприяють акумуляції тепла, проводили згідно з ГОСТ 16363-98.

Виклад основного матеріалу.

Зважаючи на результати попередньо проведених експериментальних досліджень щодо впливу вмісту купрум(II) гексафлуорсилікату (11, 22, 44, 66, 88 мас. ч.) в епоксіамінних композиціях на параметри пожежної небезпеки матеріалів на їх основі [12–13], була проведена оптимізація компонентного складу епоксіамінної композиції, відпрацьована технологія отримання такої оптимізованої композиції, а також була розроблена технологія нанесення вогнезахисного покриття на деревину. Для отримання композиції використовували епоксидіанову смолу ЕД-20, поліетиленполіамін та купрум(II) гексафлуорсилікат. На першому етапі досліджень отримували антипірен-затвердник епоксидних композицій за методикою, детально описаною в роботі [14]. Приготований антипірен-затвердник у співвідношенні ЕД-20:пера:CuSiF₆ = 100:12:55 мас.ч. вводили в епоксидний олігомер та перемішували впродовж 5-10 хв до отримання однорідної маси. Паралельно готували так звану вихідну композицію без антипірену через змішування епоксидної смоли із затвердником у співвідношенні ЕД-20:пера = 100:12 мас.ч. Готові

композиції заливали у форми і витримували за кімнатної температури впродовж 24 год до повного затверднення.

Для нанесення вогнезахисного покриття використовували зразки сосни у вигляді бруска розміром 150×60×30 мм. Перед нанесенням вогнезахисного засобу зразки витримували в термостаті за температури (45±2)°C до досягнення постійної маси. Покриття наносили двома шарами, загальна витрата вогнезахисного засобу становила в середньому 100–150 г/м². Після нанесення покриття зразки витримували за кімнатної температури впродовж доби до повного затвердіння покриття.

Важливим аспектом під час розроблення полімерних композицій для вогнезахисної обробки деревини є визначення їх схильності до займання. Як засвідчили результати проведених досліджень (табл. 1), у разі додавання антипірену температури займання та самозаймання композиції порівняно з вихідною композицією підвищуються на 28°C та 52°C відповідно. Як відомо, вирішальну роль під час виникнення процесів займання та самозаймання відіграє інтенсивність розкладу твердого матеріалу та виділення легких горючих продуктів, утворення горючої газоповітряної суміші та перебіг реакції окиснення. Чим нижча швидкість цих процесів, тим вищими будуть значення температур займання та самозаймання.

Таблиця 1 – Результати експериментального визначення температур займання та самозаймання епоксіамінних композицій

Показник	Композиція	
	ЕД/пера	ЕД/пера-CuSiF ₆
Температура займання, °C	325	353
Температура самозаймання, °C	530	582

Джерело: розроблено авторами

Введення антипірену CuSiF₆ в епоксидну композицію призводить до

перебігу хімічної взаємодії між самим антипіреном та горючим затвердником *пера*, що супроводжується утворенням міцних координаційних зв'язків. Руйнування цих зв'язків потребує затрат додаткової енергії, тому швидкість розкладу таких композицій знижується, а температури займання та самозаймання зростають. Важливо, що в умовах горіння CuSiF_6 може розкладатися з

виділенням негорючих купрум фториду та силіцій фториду. Це зумовить зміну співвідношення продуктів деструкції на користь негорючих газів.

Ефективність дії запропонованого антипірену відображається і на результатах визначення параметрів, за якими оцінюють групу горючості (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати експериментального визначення показників групи горючості епоксіамінних композицій

Показник	Композиція	
	ЕД/ <i>пера</i>	ЕД/ <i>пера</i> - CuSiF_6
Температура реакційної камери до введення зразка, t_0 , °C	200	200
Максимальна температура газоподібних продуктів згорання, t_{max} , °C	867	228
Максимальний приріст температури, Δt_{max} , °C	667	28
Тривалість досягнення максимальної температури, τ , с	150	283
Втрата маси, Δm , %	89,0	5,2
Група горючості	горючі, середньої займистості	важкогорючі

Джерело: розроблено авторами

Так, композиції, які не містять антипірену, мають доволі високі значення максимальної температури газоподібних продуктів горіння ($t_{max} = 867^\circ\text{C}$) та втрати маси під час горіння ($\Delta m = 89,0\%$), що дає змогу віднести їх до горючих матеріалів. За тривалістю досягнення максимальної температури такі композиції класифікують як матеріали середньої займистості.

У разі додавання антипірену спостерігається стрімке зниження показників групи горючості. Максимальний приріст температури для зразків таких композицій не перевищує 60°C , а втрата маси під час горіння менша 60% , тому вони належать до важкогорючих матеріалів.

Візуальне спостереження за перебігом самого процесу горіння показало, що зразки композиції без антипірену дуже легко й швидко займаються, горять з виділенням надзвичайно великої кількості диму і сажі

та важко піддаються гасінню. Натомість зразки композиції, які містять антипірен, горять лише у разі дії полум'я пальника і моментально припиняють горіти після його видалення.

Отримані дані добре корелюють з результатами визначення швидкості поширення полум'я. Внаслідок дії полум'я пальника зразок вихідної композиції легко займався та продовжував самостійно горіти після видалення пальника аж до моменту вимушеного гасіння. Оскільки розрахована швидкість горіння становила $25,2 \text{ мм/хв}$, то згідно з UL94 такий матеріал належить до категорії HB (полум'я пальника є джерелом займання горизонтально закріпленого зразка). Горіння зразків такої композиції супроводжувалося падінням палаючих продуктів розкладу, що зумовлювало займання вати, підкладеної під зразок. Під час виникнення пожежі такий процес може стати причиною появи нових

осередків займання, що неминуче призведе до збільшення загальної площі, охопленої полум'ям.

Таблиця 3 – Результати експериментального визначення швидкості поширення полум'я по зразкам епоксіамінних композицій

Показник	Композиція	
	ЕД/репа	ЕД/репа-CuSiF ₆
Середня швидкість горіння, v , мм/хв	25,2	зразок згасає після видалення полум'я
Тривалість самостійного горіння, t , с	горять до моменту вимушеного гасіння	0
Сумарний час горіння зразка, с	–	8
Сумарний час горіння серії із п'яти зразків, с	–	43
Тривалість горіння і тління зразка після другого піднесення полум'я, с	–	12
Кількість зразків, які прогоріли до затискача	–	0
Наявність палаючих крапель, від яких займалася вата	–	–
Категорія згідно з UL94	НВ	V-0

Джерело: розроблено авторами

Зразок модифікованої композиції під дією полум'я деформувався та не підтримував горіння після видалення пальника. Під час випробування зразків у вертикальному положенні тривалість їх горіння після двократного піднесення полум'я пальника була меншою за 10 с, а загальна тривалість горіння серії із п'яти зразків не перевищувала 50 с. Не спостерігалось горіння і тління зразка до затискача, краплепадіння й займання підкладеної вати. Горіння та тління зразків після другого видалення полум'я тривало не більше 30 с. Отже, згідно з UL94 такий зразок належить до найвищої категорії

щодо стійкості до горіння V-0.

Застосування запропонованого антипірену впливає і на димоутворювальну здатність епоксіамінних композицій (табл. 4). Коефіцієнт димоутворення композиції із вмістом купрум (II) гексафлуорсилікату знижується приблизно в 1,8 раза порівняно з немодифікованою композицією. Обидві композиції належать до матеріалів з високою димоутворювальною здатністю в режимі тління. В режимі горіння композиція ЕД/репа-CuSiF₆ класифікується як матеріал з помірною димоутворювальною здатністю.

Таблиця 4 – Результати експериментального визначення коефіцієнта димоутворення епоксіамінних композицій

Показник	Композиція	
	ЕД/репа	ЕД/репа-CuSiF ₆
Режим тління (без полум'я, що ініціює)		
Коефіцієнт димоутворення D_m , м ² /кг	901,73	506,18
Група за димоутворювальною здатністю	Д3	Д3
Режим горіння (з полум'ям, що ініціює)		
Коефіцієнт димоутворення D_m , м ² /кг	644,00	348,24
Група за димоутворювальною здатністю	Д3	Д2

Джерело: розроблено авторами

Підсумовуючи отримані дані, можна стверджувати, що розроблені епоксіамінні композиції мають підвищену стійкість до займання порівняно з немодифікованими композиціями, є важкогорючими та самозгасаючими, що є передумовою використання їх з метою вогнезахисту деревини. Ефективність вогнезахисної дії покриття для деревини оцінювали через порівняння двох зразків сосни: одного – покритого епоксидною композицією без антипірену, а іншого – композицією

модифікованою CuSiF_6 .

Проведені дослідження показали (табл. 4), що втрата маси зразків деревини, обробленої купрумвмісною композицією, становила 6,9%. Це означає, що розроблене покриття належить до I групи вогнезахисної ефективності і дає змогу отримати важкогорючий матеріал на основі деревини. Покриття на основі вихідної композиції не в змозі забезпечити вогнезахист деревини, оскільки втрата маси такого зразка значно перевищує 25%.

Таблиця 5 – Результати випробувань вогнезахисної ефективності епоксіамінних композицій, нанесених на поверхню деревини

Показник властивостей покриття	Покриття на основі епоксидної композиції	
	ЕД/репа	ЕД/репа- CuSiF_6
Втрата маси після випробувань, %	83,5	6,9
Група вогнезахисної ефективності	покриття не забезпечує вогнезахисту	I

Джерело: розроблено авторами

Відомо [1], що вогнезахисна ефективність покриття залежить від інтенсивності його розкладу внаслідок температурного впливу, утворення негорючих газів та твердого карбонізованого залишку. Процеси комплексоутворення в системі ЕД/репа- CuSiF_6 супроводжуються появою координаційних зв'язків Cu(II)-N . З огляду на це введення CuSiF_6 в епоксіамінну композицію призводить до ущільнення просторової сітки полімеру та зниження молекулярної рухливості її міжвузлових ділянок. Це відображається у зниженні реакційної здатності полімерних ланцюгів у процесі термоокисної деструкції та суттєвому підвищенні термоокисної стійкості модифікованих композицій. Вирішальну роль відіграє можливість розкладу CuSiF_6 під дією температури з утворенням купрум(II) фториду та силіцій(IV) фториду, що змінює хід деструкції епоксиполімеру в напрямку утворення великої кількості негорючих продуктів.

Висновки та напрями подальших досліджень. Сукупність усіх результатів

експериментальних досліджень, наведених у роботі, продемонструвала особливу роль процесу комплексоутворення в системі негорюча сіль перехідного металу – горючий амінний затвердник епоксидних смол у зниженні параметрів пожежовибухонебезпечності матеріалів на основі епоксіамінних композицій. Поява додаткових хімічних зв'язків (Cu(II)-N) відображається у підвищенні температур займання та самозаймання композицій, зниженні коефіцієнта димоутворення та переводить їх з категорії НВ в категорію V-0, з групи горючих матеріалів середньої займистості в групу важкогорючих. Це стало запорукою використання модифікованих епоксиполімерів для вогнезахисної обробки деревини. Встановлено, що вогнезахисні покриття для деревних конструкцій на основі отриманих композицій належать до I групи вогнезахисної ефективності, в той час як покриття на основі епоксіамінної композиції, що не містить антипірену, взагалі не забезпечує вогнезахисту деревини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Григоренко О. М. Підвищення ефективності протипожежного захисту деревини з використанням епоксидних композицій зі знизеним димоутворенням : монографія. Харків : НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2014. 96 с.
2. Nikolic M., Lawther J.M., Sanadi A.R. Use of nanofillers in wood coatings : a scientific review. *J Coat Technol Res*, 2015. Vol. 12(3). P. 445–61.
3. Xiao Z., Liu S., Zhang Z., Mai C., Xie Y., Wang Q. Fire retardancy of an aqueous, intumescent, and translucent wood varnish based on guanylurea phosphate and melamine-urea-formaldehyde resin. *Prog Org Coat.*, 2018. Vol. 121. P. 64–72.
4. Пушкаренко А. С. Вогнезахист будівельних конструкцій і матеріалів. *Проблеми пожежної безпеки*, 2006. Вип. 20. С. 158–161.
5. Жартовський В. М., Цапко Ю. В., Барило О. Г., Маладика І. Г., Цапко О. Ю. Новий підхід щодо профілактики горіння деревини та виробів з неї. *Пожежна безпека: теорія і практика: зб. наук. пр.*, 2008. № 1. С. 44–48.
6. Яковлева Р. А., Дмитрієва Н. В. Надання вогнестійкості деревині покриттями на основі епоксиполімерів. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. 2005. № 1. С. 63–65.
7. Григоренко О. М., Золкіна Є. С. Дослідження спучування вогнезахисних епоксидних покриттів, модифікованих металовмісними добавками. *Проблеми пожежної безпеки*, 2018. Вип. 43. С. 31–37.
8. Wu Z., Chen M., Yang H., Hu Y. The Smoke Suppression Effect of Copper Oxide on the Epoxy Resin/Intumescent Flame Retardant / Titanate Couple Agent System. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 2010. Vol. 4. № 5. С. 364–366.
9. Manzi-Nshuti C., Wu Y., Nazarenko S. A Comparative Study of the Fire Retardant Effect of Several Metal-Based Compounds Added to an Epoxy-Amine Thermoset Charles. In *Fire and Polymers VI : New Advances in Flame Retardant Chemistry and Science ; Morgan A. et al. ; ACS Symposium Series ; American Chemical Society : Washington*, 2012. P. 83–96.
10. Пархоменко В.-П. О., Лавренюк О. І., Михалічко Б. М. Перспективи застосування силіційумісних антипіренів для знизення горючості епоксидних композицій. *Вісник ЛДУБЖД*. 2017. № 15. С. 94–100.
11. Пархоменко В.-П. О., Лавренюк О. І., Михалічко Б. М. Визначення групи горючості епоксидних композицій, модифікованих солями купруму (II). *Проблеми пожежної безпеки*, 2017. Вип. 41. С. 124–128.
12. Lavrenyuk H., Kochubei V., Mykhalichko O., Mykhalichko B. Development and thermal behavior of a new type of polymer materials with reduced combustibility based on epoxy-amine composites modified with copper(II) hexafluorosilicate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2022. Vol. 147(3). P. 2197–2207.
13. Lavrenyuk H., Mykhalichko B., Kochubei V., Mykhalichko O. Novel CuSiF₆-coordinated epoxy-amine composites with reduced combustibility : Elaboration, thermal-oxidative behavior, and ignition susceptibility. *Polymer Bulletin*. 2022. Vol. 79(1). P. 157–178.
14. Лавренюк О. І., Михалічко Б. М., Пархоменко В.-П. О. Антипірен-отвердjuвач для епоксидних смол та самозгасаюча епоксидна композиція. Патент на винахід № 118709. Україна. МПК C08L63/00. Заявл. 06.03.2017, № a201702083. Опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4. 2 с.

REFERENCES

1. Hryhorenko, O. M. Pidvyshchennya efektyvnosti protypozhezhnoho zakhystu derevyny z vykorystannyam epoksydnykh kompozysiy zi znyzhenym dymoutvorennyam : monohrafiya. Kh. : NUTSZU, KP «Mis'ka drukarnya», 2014. 96 s.
2. Nikolic, M., Lawther, J. M., Sanadi, A. R. Use of nanofillers in wood coatings: a scientific review. *J Coat Technol Res*, 2015. Vol. 12(3). P. 445–61.
3. Xiao, Z., Liu, S., Zhang, Z., Mai, C., Xie, Y., Wang, Q. Fire retardancy of an aqueous, intumescent, and translucent wood varnish based on guanylurea phosphate and melamine-urea-formaldehyde resin. *Prog Org Coat.*, 2018. Vol. 121. P. 64–72.
4. Pushkarenko, A. S. Vohnezakhyst budivel'nykh konstruksiy i materialiv. *Problemy pozhezhnoyi bezpeky*. 2006. Iss. 20. S. 158–161.
5. Zhartovs'kyu, V. M., Tsapko, Yu., V., Barylo, O. H., Maladyka, I. H., Tsapko, O. Yu. Novyy pidkhid shchodo profilaktyky horinnya derevyny ta vyrobiv z neyi. *Pozhezhna bezpeka : teoriya i praktyka: zb. nauk. pr.*, 2008. № 1. S. 44–48.
6. Yakovleva, R. A., Dmitriyeva, N. V. Nadannya vohnestiykosti derevyni pokryttyamy na osnovi epoksyopolimeriv. *Naukovyy visnyk UkrNDIPB*, 2005. № 1. S. 63–65.
7. Hryhorenko, O. M., Zolkina, YE. S. Doslidzhennya spuchuvannya vohnezakhysnykh epoksyaminnykh pokryttiv, modyfikovanykh metalovmisnymy dobavkamy. *Problemy pozhezhnoyi bezpeky*. 2018. Iss. 43. S. 31–37.
8. Wu, Z., Chen, M., Yang, H., Hu, Y. The Smoke Suppression Effect of Copper Oxide on the Epoxy Resin / Intumescent Flame Retardant / Titanate Couple Agent System. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2010. Vol. 4. № 5. C. 364–366.
9. Manzi-Nshuti, C., Wu, Y., Nazarenko, S. A Comparative Study of the Fire Retardant Effect of Several Metal-Based Compounds Added to an Epoxy-Amine Thermoset Charles. In *Fire and Polymers VI : New Advances in Flame Retardant Chemistry and Science; Morgan A. et al.; ACS Symposium Series ; American Chemical Society : Washington*, 2012. P. 83–96.
10. Parkhomenko, V.-P. O., Lavrenyuk, O. I., Mykhalichko, B. M. Perspektyvy zastosuvannya sylitsiyumisnykh antypireniv dlya znyzhennya horyuchosti epoksydnykh kompozysiy. *Visnyk LDUBZH*, 2017. № 15. S. 94–100.
11. Parkhomenko, V.-P. O., Lavrenyuk, O. I., Mykhalichko, B. M. Vyznachennya hrupy horyuchosti epoksyaminnykh kompozysiy, modyfikovanykh solyamy kuprumu (II). *Problemy pozhezhnoyi bezpeky*, 2017. Iss. 41. S. 124–28.
12. Lavrenyuk, H., Kochubei, V., Mykhalichko, O., Mykhalichko, B. Development and thermal behavior of a new type of polymer materials with reduced combustibility based on epoxy-amine composites modified with copper(II) hexafluorosilicate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2022. Vol. 147(3). P. 2197–2207.
13. Lavrenyuk H., Mykhalichko B., Kochubei V., Mykhalichko O. Novel CuSiF₆-coordinated epoxy-amine composites with reduced ombustibility : Elaboration, thermal-oxidative behavior, and ignition susceptibility. *Polymer Bulletin*, 2022. Vol. 79(1). P. 157–178.
14. Lavrenyuk, O. I., Mykhalichko, B. M., Parkhomenko, V.-P. O. Antypiren-otverdzhuvach dlia epoksydnykh smol ta samozghasaiucha epoksyaminna kompozysiya : pat. 02083 Ukraina : MPK C08L63/00; № a201702083 ; zaiavl. 06.03.2017 ; opubl. 25.02.2019, Biul. № 4. 2 s.

TECHNOLOGY OF FIRE PROTECTION OF WOOD WITH COATINGS BASED ON MODIFIED EPOXY-AMINE COMPOSITES

V.-P. Parkhomenko, P. Borysiak, O. Lavrenyuk, B. Mykhalichko

Lviv State University of Life Safety, Ukraine

KEYWORDS:

epoxy-amine
composites;
copper (II)
hexafluorosilicate;
wood, fire-
retardant coatings;
fire-retardant
efficiency

ANNOTATION

The results of development of technology for obtaining and applying fire-retardant coating for wood based on epoxy-amine composites modified with CuSiF_6 are presented, and its fire-retardant efficiency is evaluated. It was found that modification of epoxy-amine composites with copper (II) hexafluorosilicate results in an increase in ignition and self-ignition temperatures by 28°C and 52°C , respectively, a sharp decrease in flammability and transfers them from the group of combustible materials of medium flammability to the group of difficult combustible materials. Due to the incorporation of flame retardant into the epoxy-amine composite, the smoke-forming coefficient in the mode of combustion and smoldering is significantly reduced, which ensures the possibility of obtaining materials with moderate smoke-forming ability. An experimental study of the flame spread on the surface of samples of epoxy-polymer materials showed that copper-containing composites do not propagate flame and belong to the highest category of resistance to combustion V-0. The obtained coatings on the basis of modified epoxy-amine composites on fire-retardant efficiency belong to I group. The combination of all the results of experimental studies presented in the work demonstrated the special role of the complexation process in the system of non-combustible transition metal salt - combustible amine hardener of epoxy resins in reducing fire and explosion hazard parameters of materials based on epoxy-amine composites. The appearance of additional chemical bonds ($\text{Cu(II)}\leftarrow\text{N}$) is reflected in the increase of ignition and self-ignition temperatures of the composites, decrease in the smoke-forming coefficient and transfers them from category HB to category V-0, from the group of combustible materials of medium flammability to the group of difficult combustible. This is the key to the use of modified epoxy-polymers for fire-retardant wood treatment. It was found that fire-retardant coatings for wooden structures based on the obtained compositions belong to I group of fire-retardant efficiency, while the coating based on the original composition does not provide fire-retardant wood.