



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,
АНГЛІЙСЬКОЮ, НІМЕЦЬКОЮ
ТА ПОЛЬСЬКОЮ
МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**ПОЖЕЖНА
БЕЗПЕКА**

ЛДУ БЖД

№ 30, 2017

заснований у 2002 році

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

д-р пед. наук **Козяр М.М.** – головний редактор
д-р техн. наук **Рак Т.Є.** – заступник головного редактора
д-р техн. наук **Семерак М.М.** – науковий редактор
д-р техн. наук **Ковалишин В.В.** – заступник наукового редактора
д-р с-г. наук **Кузик А.Д.** – заступник наукового редактора
д-р інж. **Єжи Волянін**
д-р інж. **Даріуш Врублевський**
д-р техн. наук **Гащук П.М.**
д-р техн. наук **Гивлюд М.М.**
д-р техн. наук **Гудим В.І.**
д-р техн. наук **Гуліда Е.М.**
д-р техн. наук **Демчина Б.Г.**
д-р техн. наук **Костенко В.К.**
д-р техн. наук **Круковський П.Г.**
д-р хім. наук **Михалічко Б.М.**
д-р техн. наук **Пашковський П.С.**
д-р техн. наук **Сидорчук О.В.**
д-р фіз.-мат. наук **Тацій Р.М.**
канд. техн. наук **Антонов А.В.**
канд. техн. наук **Баланюк В.М.**
канд. техн. наук **Гуцуляк Ю.В.**
канд. пед. наук **Коваль М.С.**
канд. техн. наук **Лозинський Р.Я.**

ISSN 2078-6662

ЗАСНОВНИК ТА ВИКОНАВЕЦЬ Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД)

ЗАРЕЄСТРОВАНО Державною реєстраційною службою України
14. 07. 2014 р. Серія КВ №20916-10716 ПР

ВНЕСЕНО ДО ПЕРЕЛІКУ НАУКОВИХ ФАХОВИХ ВИДАНЬ УКРАЇНИ
Наказ МОН України від 06.11. 2014 року № 1279)

ВНЕСЕНО ДО БІБЛОГРАФІЧНОЇ БАЗИ ДАНИХ
«ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY»

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ЛДУ БЖД
(Протокол № 10 від 08. 06. 2017 р.)

Літературний редактор Падик Г.М.

Редактор англійської мови Хлевной О.В.

Технічний редактор Сорочич М.П.

Комп'ютерна верстка Хлевной О.В.

Відповідальний за друк Фльорко М.Я.

Друк на різнографі Трачук О.В.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007

Контактні телефони: (032) 233-24-79, тел/факс 233-00-88

E-mail: mail@ubgd.lviv.ua, pb_zbirnyk@i.ua

Збірник наукових праць "Пожежна безпека" видається з 2002 року. Запланована періодичність 2 рази на рік. Тематична спрямованість: оригінальні та оглядові праці в галузі технічних наук з напрямку пожежна безпека.

Здано в набір 09. 06. 2017. Підписано до друку 12. 06. 2017.

Формат 60x84^{1/3}. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 13,5.

Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.

Наклад 100.

Друк: ЛДУ БЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

- В.М. Баланюк**
 ВОГНЕГАСНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА
 ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНА ДІЯ
 ПОЄДНАННЯ ВОГНЕГАСНОГО
 АЕРОЗОЛЮ, ГАЗОВОЇ ВОГНЕГАСНОЇ
 РЕЧОВИНИ І УДАРНИХ ХВИЛЬ
- 6**
- V. M. Balanyuk**
 FIRE-EXTINGUISHING EFFICIENCY
 AND PHLEGMATIZATION EFFECT
 AFTER COMBINATIONS OF FIRE-
 EXTINGUISHING AEROSOL, GASEOUS
 EXTINGUISHING AGENT AND SHOCK
 WAVES
- О.І. Башинський, Н.О. Ференц,
 С.Я. Вовк**
 ПОВЕДІНКА ДЕРЕВ'ЯНИХ
 НЕЗАХИЩЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІД
 ЧАС ГОРІННЯ
- 11**
- O. I. Bashynskiy, N. O. Ferents,
 S. Y. Vovk**
 BEHAVIOUR OF WOODEN
 UNPROTECTED PILLARS DURING
 BURNING
- Т.М. Войтович, В.В. Ковалишин,
 В.В. Кошеленко**
 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ІНГІБІТОРІВ
 КОРОЗІЇ НА КОРОЗІЙНУ АКТИВНІСТЬ
 РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ ПІНОУТВО-
 РЮВАЧІВ
- 16**
- T. M. Voitovych, V. V. Kovalyshyn,
 V. V. Koshelenko**
 RESEARCH ON INFLUENCE OF
 CORROSION INHIBITORS
 ON CORROSION ACTIVITY OF
 WORKING SOLUTIONS OF FOAMING
 AGENTS
- П.М. Гащук, М.І. Сичевський**
 ЗАГАЛЬНІ СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ В
 ЦАРИНІ ПРОЕКТУВАННЯ Й ВИГО-
 ТОВЛЕННЯ МОБІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНО-
 РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ. ЄВРОПА
- 22**
- P.M. Hashchuk, M.I. Sychevskij**
 GLOBAL TRENDS IN THE DESIGN AND
 MANUFACTURE OF FIREFIGHTING
 AND RESCUE SERVICE VEHICLES.
 EUROPE
- П.М. Гащук, Т.Р. Царук**
 КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ
 НАПРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
 (ПРОТИПОЖЕЖНИХ) ВІДЦЕНТРОВИХ
 ПОМП
- 44**
- P.M. Hashchuk, T.R. Tsaruk**
 CRITICAL ANALYSIS OF PRESSURE
 THEORETICAL PERFORMANCE
 (FIRE) CENTRIFUGAL PUMPS
- В.І. Гудим, А.Г. Мнухін,
 О.Б. Назаровець**
 ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧЕТНОСТІ
 МІДНИХ ПРОВІДНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ
 МЕРЕЖ ДО ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ
 НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНОГО РЕНТГЕНО-
 СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ
- 61**
- V. Hudym, A. Mnukhin, O. Nazarovets**
 INFLUENCE OF COPPER WIRES IN
 ELECTRIC NETWORKS ON FIRE RISKS:
 LOCAL X-RAY SPECTROMETRY
 ANALYSIS
- Е.М. Гуліда, О.М. Коваль**
 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІ-
 ЛЬКОСТІ ПРОТИПОЖЕЖНИХ
 ЗАСОБІВ В ПРИМІЩЕННЯХ ЦЕХІВ З
 ВИКОРИСТАННЯМ
 ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
- 69**
- E.M. Hulida, O.M. Koval**
 PROVIDING THE OPTIMAL AMOUNT
 OF FIRE FIGHTING MEANS IN THE
 PREMISES OF THE PRODUCTION FA-
 CILITIES WITH THE USE OF
 INFORMATION TECHNOLOGIES

- Е.М. Гуліда**
ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛІЗАЦІЙНОЇ
ГРАНИЦІ ТА ЧИННИКІВ
ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖИ
- 77** **Е.М. Hulida**
DETERMINATION OF THE LOCALIZA-
TION BORDER AND FACTORS
OF LOCALIZATION OF FOREST FIRE
- С. О. Ємельяненко, Ю. І. Рудик, Т. Є. Рак**
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ ПОРТАЛ ЯК
ПЛАТФОРМА ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ
ТА ОЦІНЮВАННЯ ПОЖЕЖНИХ
РИЗИКІВ У ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ
- 83** **S. Yemelyanenko, Y. Rudyk, T. Rak.**
GIS PORTAL AS A PLATFORM FOR
VISUALIZATION AND EVALUATION
OF FIRE RISKS IN THE RESIDENTIAL
SECTOR
- Т.В. Костенко, А.І. Березовський,
О.В. Костирка**
ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛОВОГО
НАВАНТАЖЕННЯ НА РЯТУВАЛЬНИКІВ
ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У
РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОПРОДУКТАМИ
- 91** **T. Kostenko, A. Berezovs'kyu, O. Kostyrka**
FORECAST OF THERMAL LOAD ON
RESCUERS DURING THE EXHAUSTION
OF FIRE IN TANKS WITH PETROLEUM
PRODUCTS
- С.Я. Кравців, О.М. Соболев,
В.В. Тютюнник**
ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ВПЛИВУ НА ІНТЕГРАЛЬНИЙ
ПОЖЕЖНИЙ РИЗИК ЗА ДОПОМОГОЮ
ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ
- 99** **S.Ya. Kravtsiv, O.M. Sobol', V.V. Tiutiunyk**
ESTIMATION OF PARAMETERS OF
INFLUENCE ON INTEGRATED FIRE
RISK WITH THE HELP OF FACTOR
ANALYSIS
- А. Д. Кузык, В. І. Товарянський**
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ПРОЦЕСІВ КОНДУКТИВНОГО
І РАДІАЦІЙНОГО ТЕПЛООБМІНУ ПІД
ЧАС ПОЖЕЖИ В СОСНОВИХ ЛІСАХ
- 105** **A. D. Kuzyk, V. I. Tovaryansky**
MATHEMATICAL MODELING OF
CONDUCTIVE AND RADIATIVE
HEAT TRANSFER DURING A FIRE IN
PINE FORESTS
- В. І. Лушч, Р. В. Пархоменко, І. В. Лушч**
АНАЛІЗ ПІДГОТОВКИ ГАЗОДИМО-
ЗАХИСНИКІВ ДСНС УКРАЇНИ ТА
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ
- 114** **V.I. Lushch, R.V. Parhomenko,
I.V. Lushch**
ANALYSIS OF SMOKE DIVERS
TRAINING IN THE UNITS OF STATE
EMERGENCY SERVICE OF UKRAINE
AND THE WAYS TO IMPROVE ITS
EFFICIENCY
- О.В. Міллер, А.І. Харчук,
П.П. Дубинецька**
ДІЯЛЬНІСТЬ СУБ'ЄКТІВ
ГОСПОДАРЮВАННЯ В ГАЛУЗІ
ПОЖЕЖНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ
БЕЗПЕКИ У РАЗІ ЗАЛУЧЕННЯ
ЗОВНІШНІХ РЕСУРСІВ –
СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЕКСПЕРТНИХ
КОМПАНІЙ
- 126** **O.V. Miller, A.I. Kharchuk,
P.P. Dubynetska**
ACTIVITY OF BUSINESS ENTITIES IN
THE FIELD OF FIRE AND TECHNO-
LOGICAL SAFETY BY OUTSOURCING
– COMPANY SPECIALIZED EXPERTISE

**В.-П.О. Пархоменко, В.В. Кочубей,
Б.М. Михалічко, О.І. Лавренюк,
Ю.П. Павловський**

ВПЛИВ КУПРУМ(II) ГЕКСАФЛУОР-
СИЛКАТУ НА ТЕРМООКИСНУ
СТІЙКІСТЬ САМОЗГАСАЮЧИХ
ЕПОКСІАМІННИХ КОМПОЗИЦІЙ

132

**V.-P. Parhomenko, V. Kochubei,
B. Mykhalichko, O. Lavrenyuk,
Yu. Pavlovskyi**

INFLUENCE OF THE COPPER(II) HEX-
AFLUOROSILICATE ONTO THERMAL-
OXIDATIVE STABILITY OF THE SELF-
EXTINGUISHING EPOXY-AMINE
COMPOSITES

М. М. Семерак, М. Р. Михайлишин
ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ВІТРУ НА
ПРОЦЕСИ ТЕПЛООБМІНУ МІЖ
ВЕРТИКАЛЬНИМИ СТАЛЕВИМИ
РЕЗЕРВУАРАМИ (НА ПРИКЛАДІ
ПОЖЕЖІ НА НАФТОБАЗІ
«БРСМ НАФТА»)

137

M. M. Semerak, M. R. Mykhailyshyn
INFLUENCE OF THE WIND VELOCITY
ON THE PROCES OF HEAT TRANSFER
BETWEEN VERTICAL STEEL TANKS
(IN THE CONTEXT OF FIRE ON THE
TANK FARM «BRSM NAFTA»)

**М.М. Семерак, О.В. Некора,
Д.В. Харишин, А.В. Поздєєв**
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ
НАГРІВАННЯ ТРУБОБЕТОННИХ
КОЛОН ЗА УМОВ ПОЖЕЖІ

148

**M.M. Semerak, O.V. Nekora,
D.V. Kharyshyn, A.V. Pozdyeyev**
MATHEMATICAL MODEL OF STEEL
TUBE CONFINED CONCRETE PILLAR
HEATING IN CONDITIONS OF FIRE

**Ю.Л. Фешчук, С.В. Поздєєв,
В.В. Ніжник, О.П. Борис**
ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ
КОЛОН З ВОГНЕЗАХИСНИМ
ЛИЦЮВАННЯМ

159

**Y.L. Feshchuk, S.V. Pozdeyev,
V.V. Nizhnyk, O.P. Borys**
FIRE RESISTANCE OF WOODEN
COLUMNS WITH MEMBRANE
FIREPROOFING

**Т.В. Фірман, С.В. Тимошук,
В.М. Фірман,**
СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ
ПОЖЕЖНОЇ СИТУАЦІЇ У ЛЬВІВСЬКІЙ
ОБЛАСТІ

168

T.V. Firman, S.V. Tymoshuk, V.M. Firman
ANALYSIS OF FIRE SITUATION AT THE
AREAS OF LVIV REGION

**О.В. Шаповалов, А.С. Лин,
І.П. Кравець, А.П. Кушнір,**
ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ АВТОНОМНОГО
ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ
ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО
ВОДОПОСТАЧАННЯ З
АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ

174

**O. Shapovalov, A. Lyn, I. Kravets,
A. Kushnir**
OPTIMIZATION OF ELECTRICAL
PARAMETERS OF THE AUTONOMOUS
SOURCE OF ELECTRIC POWER SUPPLY
OF INTERNAL FIRE-FIGHTING WATER
SUPPLY WITH ACCUMULATED BAT-
TERIES

*В.-П.О. Пархоменко¹, В.В. Кочубей², канд. хім. наук, доцент,
Б.М. Михалічко¹, д-р хім. наук, професор, О.І. Лавренюк¹, канд. техн. наук, доцент,
Ю.П. Павловський², канд. хім. наук, доцент
(¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
²Національний університет "Львівська політехніка")*

ВПЛИВ КУПРУМ(II) ГЕКСАФЛУОРСИЛКАТУ НА ТЕРМООКИСНУ СТІЙКІСТЬ САМОЗГАСАЮЧИХ ЕПОКСІАМІННИХ КОМПОЗИЦІЙ

В роботі отримано новий антипірен-затвердник епоксіамінних композицій на основі поліетиленполіаміну та купрум(II) гексафлуорсилікату. Вивчено вплив купрум(II) гексафлуорсилікату на процеси термоокисної деструкції епоксіамінних композицій. Виявлене підвищення термоокисної стійкості епоксіамінних композицій, затверднених новим антипіреном-затвердником, реалізується завдяки утворенню додаткових хімічних зв'язків між поліетиленполіаміном та купрум(II) гексафлуорсилікатом у процесі структурування епоксіамінної композиції. Підтверджено, що епоксіамінні композиції, модифіковані купрум(II) гексафлуорсилікатом є самозгасаючими.

Ключові слова: термоокисна стійкість, епоксіамінна композиція, купрум(II) гексафлуорсилікат, самозгасання.

V.-P. Parhomenko, V. Kochubei, B. Mykhalichko, H. Lavrenyuk, Yu. Pavlovskyi

INFLUENCE OF THE COPPER(II) HEXAFLUOROSILICATE ONTO THERMAL-OXIDATIVE STABILITY OF THE SELF-EXTINGUISHING EPOXY-AMINE COMPOSITES

New elaborated fire retardant-hardener for the epoxy-amine composites on the base of the polyethylenepolyamine and copper(II) hexafluorosilicate has been reported in the article. The influence of the copper(II) hexafluorosilicate onto the thermal-oxidative degradation process of the epoxy-amine composites has been studied. The observed increasing the thermal-oxidative stability of the epoxy-amine composites cured by new fire retardant-hardener is caused by the forming the supplementary chemical bonds arising between the polyethylenepolyamine and copper(II) hexafluorosilicate in the course of structuring the epoxy-amine composite. It is experimentally proved that the epoxy-amine composites modified by the copper(II) hexafluorosilicate are the self-extinguishing polymers.

Key words: thermal-oxidative stability, epoxy-amine composite, copper(II) hexafluorosilicate, self-extinguishment.

Постановка проблеми. Як відомо [1], горіння полімерних матеріалів розпочинається з термоокисної деструкції зразка, що супроводжується утворенням горючих газів. Тому важливою характеристикою, за якою можна оцінити схильність полімерного матеріалу до горіння, є термоокисна стійкість.

На жаль, більшість полімерних матеріалів, у тому числі й матеріали на основі епоксидних смол, характеризуються недостатньою термостійкістю та пожежною безпекою. Одним із способів підвищення термостійкості та зниження горючості епоксиполімерів є застосування хімічно активних антипіренів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Низка попередніх досліджень [2-4] доведено перспективність застосування комплексних сполук на основі аміних затвердників епоксидних смол та неорганічних солей купруму(II) з метою підвищення термостійкості епоксіаміних композицій. Показано, що опірність до термоокисної деструкції модифікованих полімерних композицій зумовлена виникненням в межах каркасу полімерної матриці координаційного фрагмента хелатного комплексу. В цьому плані доволі перспективним антипіреном може виявитися купрум(II) гексафлуорсилікат.

Метою роботи є отримання нового антипірена-затвердника епоксіаміних композицій на основі поліетиленполіаміну (ПЕПА) й купрум(II) гексафлуорсилікату. Для підтвердження ефективності запропонованого антипірена необхідно провести порівняльну оцінку термоокисної стабільності відомого затвердника епоксидних композицій ПЕПА та синтезованого, а також виявити вплив купрум(II) гексафлуорсилікату на термостійкість та термоокисну деструкцію епоксіаміних композицій.

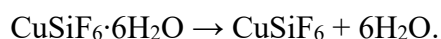
Виклад основного матеріалу. Антипірен-затвердник у вигляді кристалічного комплексу отримували шляхом змішування еквімольних кількостей поліетиленполіаміну та купрум(II) гексафлуорсилікату за кімнатної температури. Як зв'язуюче епоксіаміної композиції було використано епоксидіановий олігомер марки ЕД-20. Готували два зразки композицій: з використанням в якості затвердника поліетиленполіаміну (ПЕПА) та синтезованого купрокомплексу (ПЕПА-CuSiF₆). Затверднення епоксидних композицій проводили за кімнатної температури впродовж 24 годин.

Термостійкість та термоокисну деструкцію вихідних компонентів (ПЕПА, купрум(II) гексафлуорсилікату), отриманого антипірена-затвердника, епоксіаміної композиції затвердненої ПЕПА та композиції затвердненої запропонованим антипіреном-затвердником, а також теплові ефекти, які супроводжують ці процеси, досліджували методами дериватографії.

Термічний аналіз проводили на дериватографі Q-1500D (system: F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey) з реєстрацією аналітичного сигналу втрати маси та теплових ефектів за допомогою комп'ютера. Дослідження здійснювали в динамічному режимі в атмосфері повітря. Зразки нагрівали зі швидкістю 5°C/хв. Наважка становила в середньому 100 мг. Еталонною речовиною був алюміній оксид.

Згідно з результатами дериватографічних досліджень випаровування поліетиленполіаміну з повною втратою маси зразка спостерігається в температурному інтервалі 20-170°C і супроводжується ендотермічним ефектом на кривій ДТА.

Розклад зразка купрум(II) гексафлуорсилікату протікає впродовж двох стадій. За даними диференційно-термогравіметричного та термогравіметричного аналізів втрата маси ($\Delta m = 34,0\%$) на першій стадії, в температурному інтервалі 20-174°C, відповідає виділенню шести молекул кристалізаційно зв'язаної води:



На кривій ДТА в цьому інтервалі температур з'являється ендоефект. На другій стадії, в області температур 174-446°C, відбувається розклад безводного купрум(II) гексафлуорсилікату з виділенням газоподібного силіцій флуориду:



Цей процес супроводжується втратою маси $\Delta m = 32,8\%$ та появою ендоефекту на кривій ДТА. Отримані експериментальні дані добре узгоджуються з результатами теоретичних обчислень (табл. 1).

Таблиця 1

Результати термогравіметричного аналізу купрум(II) гексафлуорсилікату

Зразок	Стадія	Температурний інтервал, °С	Втрата маси експ., %	Втрата маси теор., %
CuSiF ₆ ·6H ₂ O	1	20-174	34,0	34,4
	2	174-446	32,8	33,1

Перша стадія термолізу зразка отриманого антипірена-затвердника (ПЕПА-CuSiF₆) протікає в області температур 20-160°C. Вона супроводжується втратою маси на кривій ТГ ($\Delta m = 13,4\%$) та появою ендотермічного ефекту на кривій ДТА з максимумом за температури 112°C.

Друга стадія термолізу відбувається в температурному інтервалі 160-253°C та супроводжується ендотермічним ефектом на кривій ДТА з максимумом за температури 212°C. Втрата маси на цій стадії становить 14,3%. Передбачено, що на цих стадіях відбувається відщеплення силіцій флуориду.

На третій стадії термолізу в температурному інтервалі 253-368°C протікає часткова деструкція аміної складової комплексу, яка супроводжується термоокисними процесами. Цей процес супроводжується втратою маси 39,9%. На кривій ДТА присутній екзо- та ендотермічний ефекти.

Четверта стадія, яка протікає в області температур 368-544°C, відповідає процесу згоряння продуктів термоокисної деструкції органічної складової комплексу. Втрата маси на цій стадії становить 15,3%. На цій стадії з'являється яскраво виражений екзотермічний ефект з максимумом за температури 488°C (табл. 2).

Таблиця 2

Результати термогравіметричного аналізу антипірена-затвердника

Зразок	Стадія	Температурний інтервал, °С	Втрата маси експ., %
ПЕПА-CuSiF ₆	1	20-160	13,4
	2	160-253	14,3
	3	253-368	39,9
	4	368-544	15,3

З наведених даних випливає, що молекули ПЕПА в конденсованому стані утримуються слабкими водневими зв'язками. Тому рідкий ПЕПА дуже легко перетворюється в пару та за відповідної концентрації пари в атмосфері повітря спроможний легко зайнятися. В запропонованому ж антипірені-затверднику молекули ПЕПА міцно зв'язані купрум(II) гексафлуорсилікатом, тому таке миттєве випаровування його стає утрудненим. Отож проведені дослідження є передумовою використання нового антипірена-затвердника з метою зниження горючості епоксіамінних композицій.

Для виявлення впливу купрум(II) гексафлуорсилікату на термостійкість та термоокисну деструкцію епоксіамінних композицій проводили дослідження вихідної композиції та композиції, затвердненої запропонованим антипіреном-затвердником.

Термоокисна деструкція епоксидної смоли, затвердненої поліетиленполіаміном (ЕД / ПЕПА), протікає в 4 стадії (табл. 3). На першій стадії, області температур 20-180°C відбувається виділення летких продуктів, не зв'язаних в тривимірну сітку. Цей процес супроводжується появою ендотермічного ефекту на кривій ДТА та втратою маси зразка 3,1%.

Друга стадія протікає в температурному інтервалі 180-360°C ($\Delta m = 32\%$) і супроводжується появою екзотермічного ефекту на кривій ДТА з максимумом за температури 300°C. На цій стадії відбувається термоокисна деструкція зразка, яка протікає за вільнорадикальним механізмом за участю алкільних і пероксидних радикалів з утворенням гідропероксидів [3, 5, 6].

Впродовж третьої стадії термолізу в температурному інтервалі 360-460°C ($\Delta m = 12,1\%$) відбувається згоряння продуктів термічної деструкції органічної складової зразка. Цей процес супроводжується появою на кривій ДТА екзотермічного ефекту, з максимумом за температури 400°C.

На четвертій стадії термолізу, в області температур 460-900°C, відбувається згоряння піролітичного залишку зразка ($\Delta m = 52\%$). На кривій ДТА в цьому температурному інтервалі з'являється екзотермічний ефект.

Термоліз зразка епоксіамінної композиції, затвердненої новим антипіреном-затвердником (ЕД / ПЕПА-CuSiF₆) протікає в три стадії (табл. 3). В температурному інтервалі 20-127°C відбувається виділення летких продуктів, не зв'язаних у тривимірну сітку, що супроводжується втратою маси 6,4%. На кривій ДТА з'являється ендотермічний ефект з максимумом за температури 82°C.

На другій стадії в температурному інтервалі 127-320°C відбувається ряд складних процесів, пов'язаних з відщепленням силіцій флуориду, термоокисними та деструктивними процесами органічної складової зразка. Максимум екзо ефекту, що з'являється на цій стадії, спостерігається за температури 210°C. Втрата маси становить 21,2%.

Значній втраті маси зразка ($\Delta m = 65,1\%$) на третій стадії, в температурному інтервалі 320-580°C, відповідають процеси глибокої деструкції зразка та згоряння летких органічних продуктів розкладу. На кривій ДТА з'являється яскраво виражений екзо ефект.

Таблиця 3

Результати термогравіметричного аналізу зразків композицій

Зразок	Стадія	Температурний інтервал, °C	Втрата маси експ., %
ЕД / ПЕПА	1	20-180	3,1
	2	180-360	32,0
	3	360-460	12,1
	4	460-900	52,0
ЕД / ПЕПА-CuSiF ₆	1	20-127	6,4
	2	127-320	21,2
	3	320-580	65,1

Варто зазначити, що зразок композиції ЕД / ПЕПА-CuSiF₆ відзначається вищою термостійкістю порівняно з композицією ЕД / ПЕПА. Про це свідчить менш інтенсивна втрата маси зразка композиції ЕД / ПЕПА-CuSiF₆ (21,2%), у порівнянні із зразком ЕД / ПЕПА (32,0%), в процесі термоокисної деструкції на другій стадії термолізу.

Згоряння ж піролітичних залишків органічної складової зразка ЕД / ПЕПА-CuSiF₆ протікає у більш вузькому інтервалі температур порівняно із зразком ЕД / ПЕПА. В той час, коли згоряння карбонізованого залишку зразка ЕД / ПЕПА завершується за температури 900°C, згоряння органічної складової зразка ЕД / ПЕПА-CuSiF₆ припиняється за температури 580°C. Це свідчить про самозгасаючий характер горіння зразка композиції, затвердненої новим антипіреном-затвердником.

Висновки. На основі проведених досліджень впливу купрум(II) гексафлуорсилікату на процеси термоокисної деструкції епоксіамінних композицій встановлено, що термоокисна стійкість модифікованих композицій суттєво вища за стійкість вихідної композиції. Показано, що купрум(II) гексафлуорсилікат проявляє стабілізуючу дію, оскільки завдяки вираженій комплексоутворювальній здатності, введення його в композицію сприяє ущільненню полімерної матриці та зниженню молекулярної рухливості міжвузлових ділянок епоксіамінної сітки, що призводить до зниження реакційної здатності полімерних ланцюгів в процесі термоокисної деструкції. Завдяки фактору структурної стабілізації досягнуто ефекту самозгасання епоксіамінних композицій.

Список літератури:

1. Воробьев В. А. Горючесть полимерных строительных материалов / В. А. Воробьев, Р. А. Андрианов, В. А. Ушков. – М.: Стройиздат, 1978. – 224 с.
2. A new flame retardant on the basis of diethylenetriamine copper(II) sulphate complex for combustibility suppressing of epoxy-amine composites / H. Lavrenyuk, V. Kochubei, O. Mykhalichko, B. Mykhalichko // *Fire Safety Journal*. – 2016. – Vol.80. – P. 30-37.
3. Термоокисна деструкція модифікованих купрум(II) карбонатом самозгасаючих епоксіамінних композицій / П. В. Пастухов, В. В. Кочубей, Б. М. Михалічко, О. І. Лавренюк // *Пожежна безпека: Зб. наук. праць*. – Львів, 2016. – № 28. – С. 101-105.
4. Synthesis, structural, and thermal characterization of a new binuclear copper(II) chelate complex bearing an amine-hardener for epoxy resins / H. Lavrenyuk, O. Mykhalichko, B. Zarychta, V. Olijnyk, B. Mykhalichko // *Journal of Coordination Chemistry*. – 2016. – Vol. 69, №18. – P. 2666-2676.
5. Благонравова А. А., Непомнящий А. И. Лаковые эпоксидные смолы / А. А. Благонравова, А. И. Непомнящий – М.: Химия, 1970. – 248с.
6. Коршак В.В. Термостойкие полимеры / В. В. Коршак – М.: Наука, 1969. – 141с.

References:

1. Vorobiov V. A. Combustibility of the polymeric constructional materials / V. A. Vorobiov, R. A. Andrianov, V. A. Ushakov, Stroizdat, Moscow, 1978. (in Russian).
2. A new flame retardant on the basis of diethylenetriamine copper(II) sulphate complex for combustibility suppressing of epoxy-amine composites / H. Lavrenyuk, V. Kochubei, O. Mykhalichko, B. Mykhalichko // *Fire Safety Journal*. – 2016. – Vol.80. – P. 30-37.
3. Thermal-oxidative destruction of the self-extinguishing epoxy-amine composites modified by copper(II) carbonate / P. Pastuhov, V. Kochubei, B. Mykhalichko, H. Lavrenyuk // *Fire Safety*. – 2016. – No. 28. – P. 101-105.
4. Synthesis, structural, and thermal characterization of a new binuclear copper(II) chelate complex bearing an amine-hardener for epoxy resins / H. Lavrenyuk, O. Mykhalichko, B. Zarychta, V. Olijnyk, B. Mykhalichko // *Journal of Coordination Chemistry*. – 2016. – Vol. 69, №18. – P. 2666-2676.
5. A. A. Blagonravova, A. I. Nepomniashchii, Lacquered epoxy resins, Khimia, Moscow, 1970. (in Russian).
6. V. V. Korshak, Thermostable polymers, Nauka, Moscow, 1969. (in Russian).

