

УДК 667.637.4:699.81

Н.А. ТАРАН (канд. хім. наук, доц.)

Індустріальний інститут ДВНЗ «Донецького національного технічного університету» МОН України, м. Покровськ

Л.М. ВАХІТОВА (канд. хім. наук, пров. наук. співроб.)

Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, м. Київ

С.П. ПРИДАТЬКО (канд. хім. наук, доц.)

Індустріальний інститут ДВНЗ «Донецького національного технічного університету» МОН України, м. Покровськ

В. І. БЕССАРАБОВ (кан. хім. наук, доц.)

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, м. Київ

А.П. ПРУДЧЕНКО (канд. хім. наук)

А.Ф. ПОПОВ (д-р.хім. наук, академік НАНУ)

Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, м. Київ

РЕГУЛЮВАННЯ ХІМІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОМПОНЕНТІВ ВОГНЕЗАХИСНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Досліджено вплив хімічної структури компонентів інтумесцентних систем на вогнезахисну ефективність покриттів. Доведено, що властивості утвореного пінококсу вогнезахисного покриття залежать від хімічної природи інгредієнтів: поліфосфат амонію, пентаеритрит і поліфункціональні газоутворювачі є найбільш оптимальними компонентами, які сприяють утворенню термостійких просторово зшитих структур спіненого шару. Вивчено ефект домішок оксидів і гідроксидів металів, наноглин і наноксидів металів на вогнезахисну ефективність інтумесцентних композицій. Показано, що найбільш ефективними є суміші, які містять в своєму складі наночастинки оксиду титану і органоглини. Дані дослідження розширюють практичні можливості модифікації інтумесцентних композицій з метою поліпшення їх вогнезахисних властивостей, розробки рецептур і технологій вогнезахисних спучених матеріалів різного функціонального призначення.

Ключові слова: інтумесцентна система, вогнезахист, антипірени, коефіцієнт спучування, наноглина, наноксиди металів

Питання протипожежної безпеки металевих та дерев'яних будівельних конструкцій шляхом застосування засобів вогнезахисту регламентуються національними стандартами і нормами, виконання яких є обов'язковим в будівництві, гірництві, електроенергетиці, на транспорті та інших галузях промисловості. Широкий розвиток технологій вогнезахисних матеріалів почався ще в 19 столітті, але і до цього дня розробка рецептур таких матеріалів не втрачає своєї актуальності. Раніше перевага віддавалася негорючим протягом довгого часу або самозатухаючим матеріалам, в основі яких лежать спеціальні домішки, які протидіють горінню, - галогеновмісні антипірени [1]. Але в зв'язку з тим, що багато продуктів повного і неповного згорання таких сполук, які входять до складу диму, мають підвищену токсичність, виникає необхідність розробки таких вогнезахисних матеріалів, які мали б мінімальний згубний вплив на людину і екологічну ситуацію.

Останнім часом перевага віддається вогнезахисним інтумесцентним (що спучуються) матеріалам та покриттям. Вогнезахисні інтумесцентні покриття - це клас матеріалів, які під дією високих температур утворюють пористий пінококс, який у багато разів перевершує початковий обсяг покриття і має низьку теплопровідність, оберігає поверхню, що захищається, від впливу як високих температур (теплого випромінювання), так і безпосередньо від відкритого полум'я [2]. Це дозволяє збільшити час можливої евакуації людей та час, який може бути витрачено на гасіння пожежі, а отже, для порятунку будівельних конструкцій від руйнування [3].

Незважаючи на велику кількість проведених досліджень проблема вогнезахисної ефективності таких композицій повністю не вирішена. Тому актуальним завданням є дослідження можливості підвищення результативності вогнезахисту шляхом пошуку нових компонентів або варіювання складу інтумесцентних систем.

Метою дослідження є удосконалення існуючих на сьогоднішній день традиційних рецептур інтумесцентних композицій через вивчення впливу структури донора кислоти, карбонізуючої сполуки, газоутворювача та інших домішок до складу композицій, що спучуються.

Зазвичай вогнезахисна інтумесцентна система включає три основних складових: кислотний компонент (необхідний для кислотного каталітичного впливу), полііоли (карбонізуючі сполуки) і спінюючий агент (газоутворювач (ГУ)), які при взаємодії між собою утворюють теплоізолюючий пінококсовий шар [1-3]. Безперечно, що ефективність вогнезахисту буде залежати від якісного і кількісного складу інтумесцентної системи.

Вплив структури газоутворювача на вогнезахисну ефективність інтумесцентної системи. В якості базового інтумесцентного складу була вивчена система поліфосфат амонію (ПФА)/пентаеритрит (ПЕ)/амінний ГУ при співвідношенні компонентів 3,8: 1,0: 1,0 в інтервалі температур 100 – 600 °С. Як газоутворювач були вивчені карбамід (I), меламін (II), диціандіамід (III), гуанідин (IV), тіокарбамід (V), формілтіосемікарбазид (VI), тіосемікарбазид (VII), фенілетилкарбамід (VIII).

Вогнезахисну ефективність оцінювали з використанням значень об'ємного коефіцієнта спучування K ($\text{см}^3/\text{г}$) і втрати маси зразків Δm (%) в точках максимального спучування систем. Методику визначення вогнезахисної ефективності інтумесцентних систем описано в [4].

Залежності об'ємного коефіцієнта спучування K ($\text{см}^3/\text{г}$) інтумесцентних систем ПФА/ПЕ/(ГУ I – ГУ VIII) від температури представлені на рис. 1. Згідно з цими даними вивчені інтумесцентні суміші умовно можуть бути розділені на дві групи: системи, які характеризуються тривалою стабілізаційною ділянкою при відносній сталості коефіцієнта спучування K в інтервалі температур 300 – 600 °С (рис. 1, а) і системи з екстремальною залежністю коефіцієнта спучування K від температури (рис. 1, б).

На наш погляд, основною причиною відмінності у вогнезахисній ефективності інтумесцентних систем, представлених на рис. 1, є та обставина, що лінійні діаміни не утворюють з фосфатами стабільних просторово розгалужених фосфамідних сполук, як основи термостійкого теплоізоляційного каркасу (рис. 1, б - ГУ I, VII, VIII). В області температур 200 – 400 °С відбувається швидке утворення теплоізолюючого шару з інтенсивним газовиділенням (високі коефіцієнти спучування K) і таке ж швидке його руйнування.

Інша ситуація спостерігається для ГУ II - ГУ VI, процеси спучування яких в складі інтумесцентних систем характеризуються постійністю значення коефіцієнта K протягом досить широкого інтервалу температур, як показано на рис. 1, а. Максимальні значення K отримано при використанні в якості газоутворювача формілтіосемікарбазиду VI, який є біфункціональною сполукою: містить в своєму складі аміно- і альдегідні групи. Це дозволяє речовині VI, з одного боку, брати участь в утворенні фосфамідного каркасу, а, з іншого, бути джерелом для утворення аміноформальдегідних смол [5], які є ефективними компонентами систем, що спучуються.

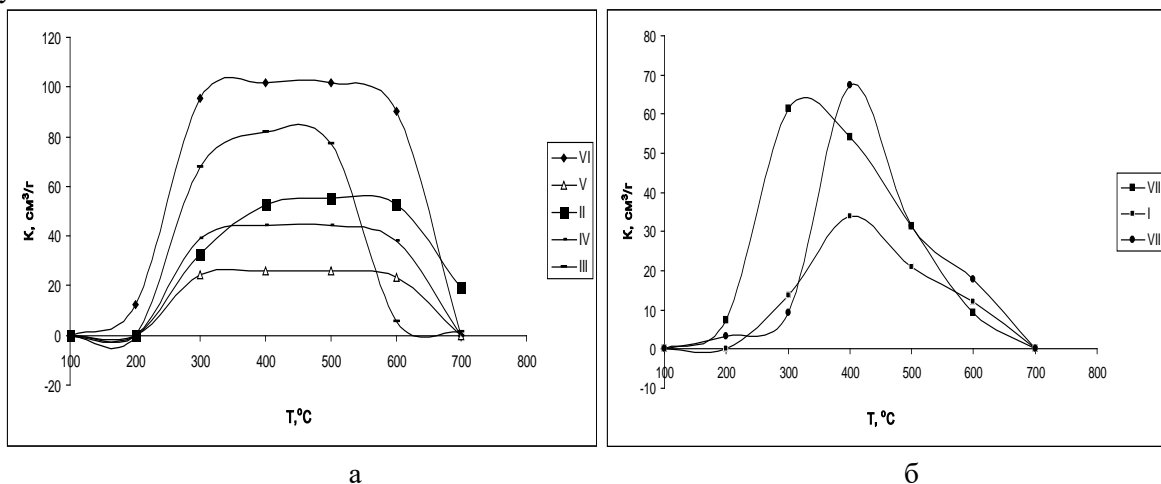


Рис. 1. Залежність коефіцієнта спучування K ($\text{см}^3/\text{г}$) від температури T (°С) для системи ПФА/ПЕ/ГУ: карбамід (I), меламін (II), диціандіамід (III), гуанідин (IV), тіокарбамід (V), формілтіосемікарбазид (VI), тіосемікарбазид (VII), фенілетилкарбамід (VIII)

Порівняння значень об'ємного коефіцієнта спучування K для систем ПФА/ПЕ/ГУ демонструє зменшення значення K в ряду формілтіосемікарбазид > диціандіамід \geq меламін > карбамід \geq тіокарбамід.

При цьому втрати маси зразків є мінімальними, коли як амін в системі ПФА/ПЕ/ГУ використовується меламін, рис. 2 (II), і максимальними - при використанні карбаміду, рис.2 (I), тому що терморозпад I відбувається до вступу в реакцію інших реагентів, які забезпечують процес інтумесценції.

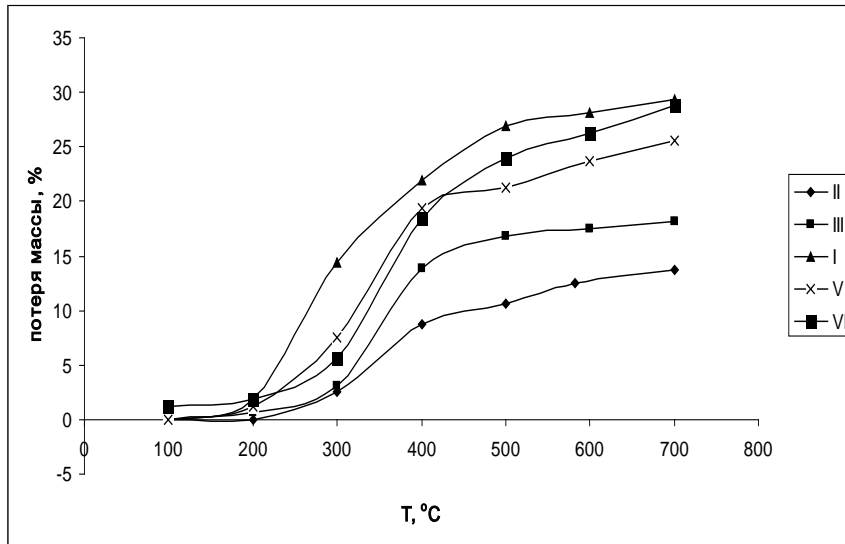


Рис. 2. Значення втрати маси Δm (%) при різних температурах T (°C) для системи ПФА/ПЕ/ГУ: карбамід (I), меламін (II), тіокарбамід (V), формілтіосемікарбазид (VI)

Вплив донора кислоти і поліолу на властивості інтумесцентної системи. Літературні дані свідчать [3], що найчастіше «обов'язковими» реагентами інтумесцентних систем є пентаеритрит (карбонізуючий агент) і моно- або поліфосфати амонію (донори фосфорної кислоти). Для встановлення оптимальних структурних пар цих компонентів проведено системне дослідження вогнезахисної ефективності суміші поліол/донор фосфорної кислоти в температурному інтервалі 100 - 400 °C.

На рис. 3 зображено величини коефіцієнтів спучування (K , см³/г) в залежності від відносного зменшення маси (Δm , %) для різних інтумесцентних систем. Для досліджених донорів фосфорної кислоти (моно- і поліфосфатів амонію, фосфатів меламіну і карбаміду) спостерігається екстремальний характер цієї залежності, що обумовлений природою використаного поліолу. Точки на висхідному плечі кривих розташовані відповідно до зростання реакційної здатності поліолу по відношенню до донору кислоти. Мабуть, в цьому випадку здійснюються переважно реакції естерифікації, а не термічна деструкція реагентів. Ситуація з передчасним піролізом складових полімерної інтумесцентної системи спостерігається на низхідній частині кривих, рис. 3. Індивідуальний терморозпад сполук, який призводить до значної нецільової втрати маси, відповідно, не дозволяє сформуватися належному теплоізолюючому каркасу і не забезпечує очікуваних величин коефіцієнта спучування.

Відомо, що крохмаль дуже легко перетворюється в горючий левоглюкозан ($T \sim 200^\circ\text{C}$), а потім в малореакціонноздатну ангідродигітоксозу ($T \sim 260-270^\circ\text{C}$) [6]. Цим і пояснюється ефективність його дії в парі з фосфатом карбаміду, термодеструкція якого починається з 180°C , і несумісність з фосфатом меламіну, який є термічно стабільним майже до 300°C . Особливістю піролізу моно- і дисахаридів є утворення при температурі $180 - 200^\circ\text{C}$ з відносно невеликим зменшенням маси (до 15%) карамелану і його аналогів, які не здатні до спучування внаслідок відсутності синхронізації цього процесу зі збільшенням в'язкості розплаву коксового шару.

Різниця в коефіцієнтах спучування близьких за структурою сполук сорбіту та ксиліту пояснюється участю останнього в хімічних реакціях при температурі вище 160°C з утворен-

ням легкозаймистого фурфуролу. За даними термічного аналізу в досліджуваному температурному інтервалі застосовані донори фосфорної кислоти основну масу втрачають в такий послідовності: карбамід фосфат - 33% (180 - 230 °С), моноамоній фосфат - 26% (180 - 345 °С), поліфосфат амонія - 12% (350 - 400 °С), меламін фосфат - 38% (300 - 480 °С).

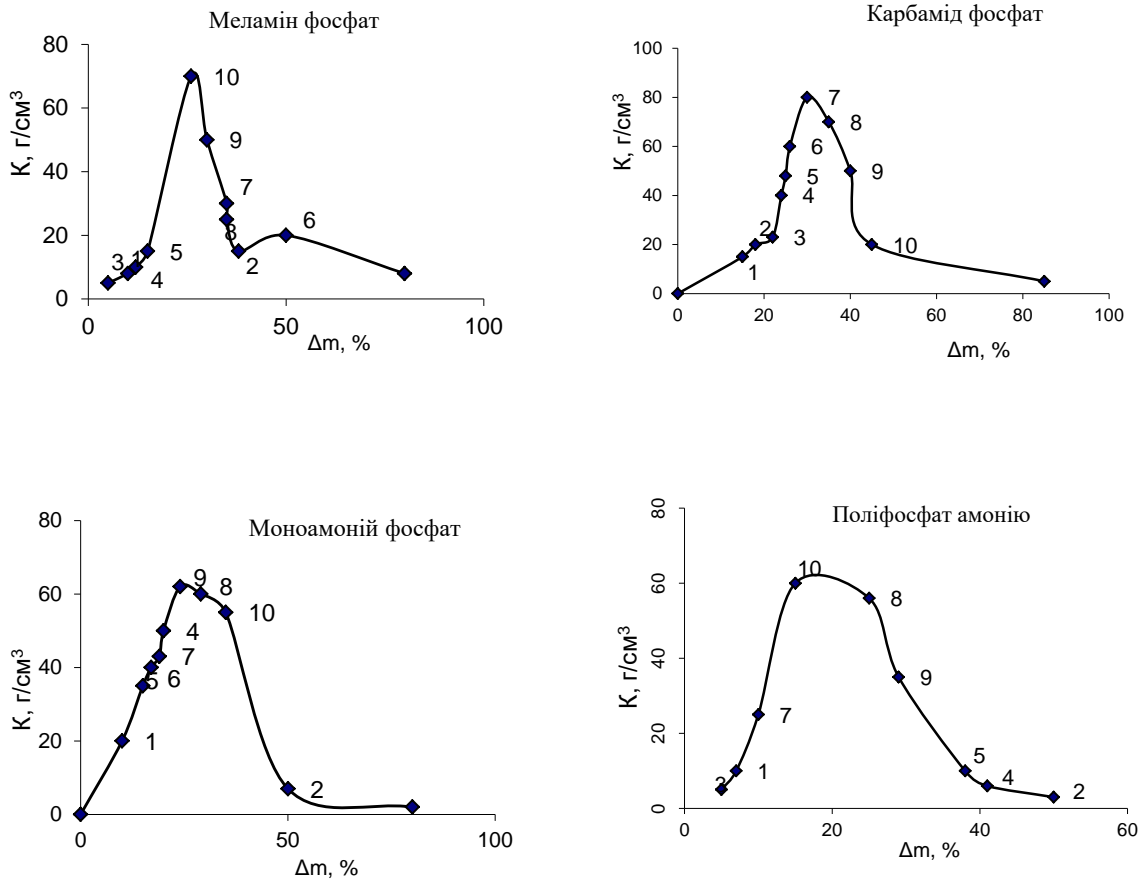


Рис. 3. Залежність коефіцієнта спучування (K , $\text{см}^3/\text{г}$) від відносного зменшення маси зразка (Δm , %) для різних інтумесцентних систем
1-пентаеритритфталат, 2-триметилпропан, 3-карбоксиметилцелюлоза, 4-сахароза, 5-глюкоза, 6-декстрин, 7-крохмаль, 8-ксиліт, 9-сорбіт, 10-пентаеритрит

Серед використаних поліолів найбільш термостабільним є пентаеритрит (температура його деструкції становить 250 °С). Саме ця властивість в сукупності зі значним вмістом гідроксильних груп визначає високий показник коефіцієнта спучування з усіма донорами фосфорної кислоти за винятком карбамід фосфату, що обумовлено термолізом кислотного компонента при більш низькій температурі. А отримані експериментальні дані не суперечать постулату щодо необхідності максимальної близькості температур деструкції поліола і донора кислоти [1].

На рис. 4 представлені дані по залежності коефіцієнта спучування K від температури для потрійної інтумесцентної системи ПФА/меламін (МА)/поліол, які демонструють, що за інших рівних умов пентаеритрит є найкращим коксоутворюючим компонентом в порівнянні з іншими вивченими поліспиртами.

Таким чином, проведений порівняльний аналіз впливу складу компонентів інтумесцентної суміші (поліол/фосфат/газоутворювач) на її вогнезахисну ефективність показав, що властивості пінококсу, який утворюється, залежать від хімічної природи інгредієнтів: поліфосфат амонію, пентаеритрит і поліфункціональні газотворювачі є найбільш оптимальними компонентами, які сприяють утворенню просторово зшитих структур спіненого шару.

Вплив нанододмішок на властивості вогнезахисних композицій. Відомо, що для підвищення вогнезахисної ефективності інтумесцентних систем застосовують силіцій- та металовмісні речовини, карбонати, силікати металів; комплексні сполуки; оксиди і гідроксиди деяких

металів. Серед зазначених речовин є синергісти сповільнювачів горіння, каталізатори процесів коксування та речовини, що змінюють фізичні закономірності процесів горіння полімерних матеріалів [7]. Тому дослідження домішок оксидів і гідроксидів металів як компонентів інтумесцентних композицій є досить актуальним питанням.

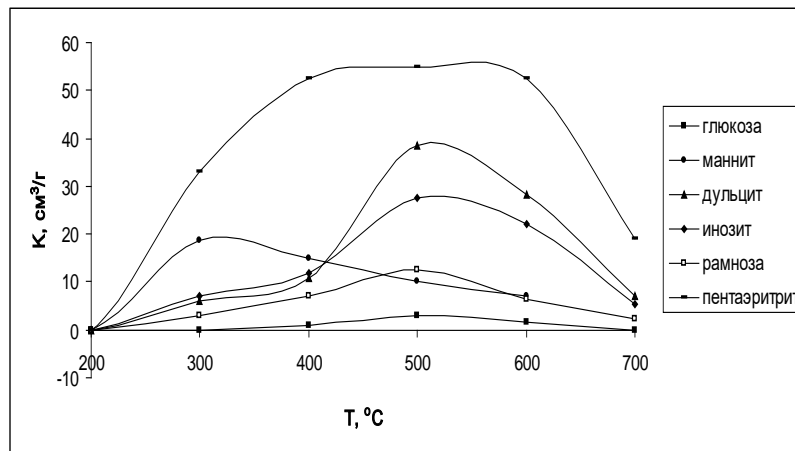


Рис. 4. Залежність коефіцієнта спучування K ($\text{см}^3/\text{г}$) від температури T ($^{\circ}\text{C}$) для системи ПФА/МА/ поліол

Оксиди і гідроксиди металів. На рис. 5 представлені залежності об'ємного коефіцієнта спучування K ($\text{см}^3/\text{г}$) інтумесцентних композицій ПФА/ПЕ/МА з домішками оксидів і гідроксидів металів від температури. Ці дані демонструють, що основні процеси, відповідальні за вогнезахисні властивості покриття, починаються після 300°C і перебігають в основному в інтервалі температур $350 - 550^{\circ}\text{C}$ незалежно від природи додаткової антипіренової домішки. Зниження коефіцієнта спучування при додаванні оксидів і гідроксидів металу в досліджувану систему є досить загальною тенденцією, що свідчить про їх участь в процесі інтумесценції. При цьому інтенсивність спучування для систем з домішками оксидів знижується в ряду: $\text{TiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{ZnO} > \text{CuO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{CaO}$, а з домішками гідроксидів в ряду – $\text{Mg}(\text{OH})_2 > \text{Al}(\text{OH})_3 > \text{Ca}(\text{OH})_2$. Гідроксиди металів ($\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) знижують спучення меншою мірою, ніж їх оксидні аналоги (Al_2O_3 , MgO , CaO).

Позитивний вплив домішок цих антипіренів в композицію ПФА/ПЕ/МА проявляється, перш за все, у підвищенні маси коксового залишку на всьому інтервалі досліджених температур ($250 - 600^{\circ}\text{C}$), що демонструють дані рис. 6. При дії високих температур значення втрати маси у присутності оксидів металів в базовому складі знижуються в середньому на $10 - 15\%$, що є свідченням підвищення міцності ізолюючого шару, а отже, і зниження горючості досліджуваних композицій.

Сполуки металів можуть блокувати "активні" центри, відповідальні за перебіг деструктивного процесу, за рахунок заміни реакційноздатних угруповань, що легко утворюються при тепловій дії, на термостабільні фрагменти з високими значеннями енергії зв'язку [8, 9]. У деяких випадках оксиди металів можуть бути інгібіторами реакцій, які призводять до утворення коксового шару. На наш погляд, найбільший внесок у зростання термічної стійкості системи в температурному діапазоні $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ можуть привносити реакції, пов'язані з впровадженням атомів металів в структуру коксового залишку.

Наноглини і наноксиди. Аналіз літературних даних свідчить, що додавання нанополук (оксидів перехідних металів, наноглин) також підвищує вогнезахисні, експлуатаційні та екологічні характеристики вогнезахисних покриттів, покращує їх механічні властивості, знижує дымоутворення в умовах дії вогню [10, 11].

Вивчено вплив домішок нанорозмірних TiO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , наноглини монтморилоніту (ММТ) і органоглини на основі ММТ, модифікованого цетилтриметиламоній-катионом (ЦТА-ММТ) на вогнезахисну ефективність інтумесцентних композицій. Рис. 7 та 8 демонструють, що вплив домішок наноглин і наноксидів в інтумесцентну систему ПФА/ПЕ/МА на параметри K і Δm мають однакові тенденції. Системи з домішками нанополук характеризуються тривалішою

стабілізаційною ділянкою при відносній сталості коефіцієнта спучування K в інтервалі температур 300 – 600 °С, як це показано на рис. 7, в порівнянні з немодифікованою інтумесцентною композицією (ІК).

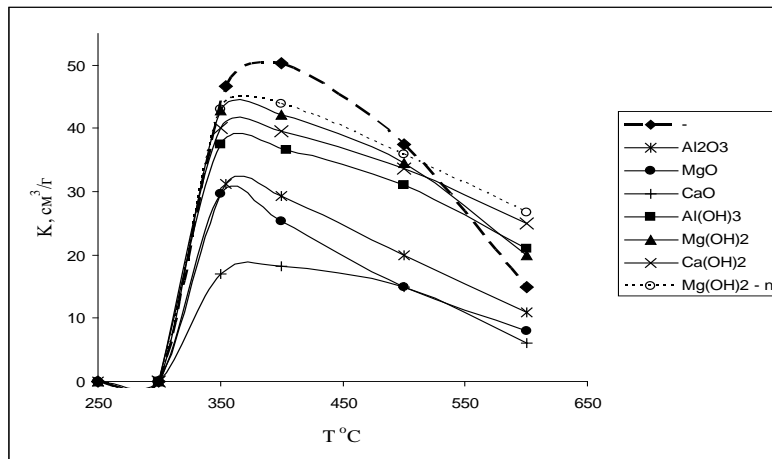
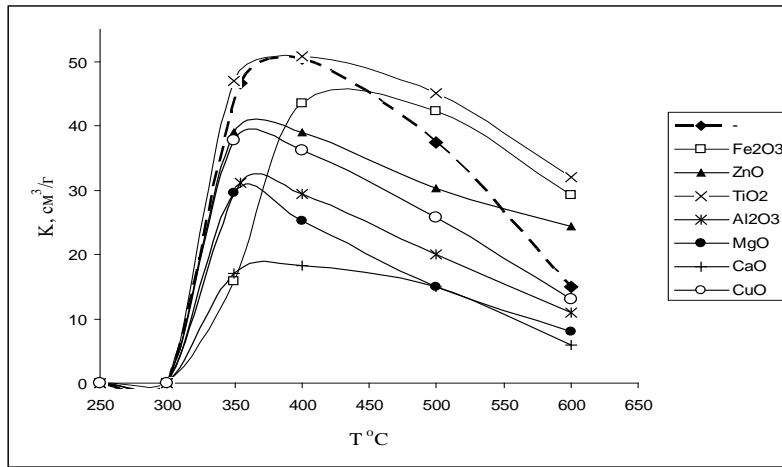


Рис. 5. Залежність коефіцієнта спучування K (см³/г) від температури T (°С) композиції ПФА/ПЕ/МА з домішками MeO і $Me(OH)_m$

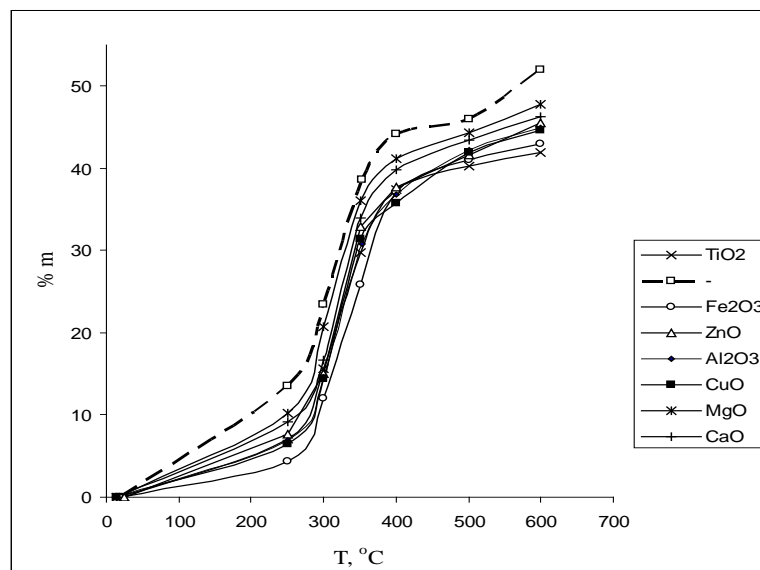


Рис. 6. Залежність значень втрати маси Δm (%) композицій ПФА/ПЕ/МА/MeO від температури T (°С)

Цей результат дозволяє прогнозувати, що застосування домішок нанополук в інтумесцентних покриттях дозволить підвищити теплоізоляційні та міцнісні характеристики коксового шару і, як наслідок, збільшити межу вогнестійкості будівельних конструкцій.

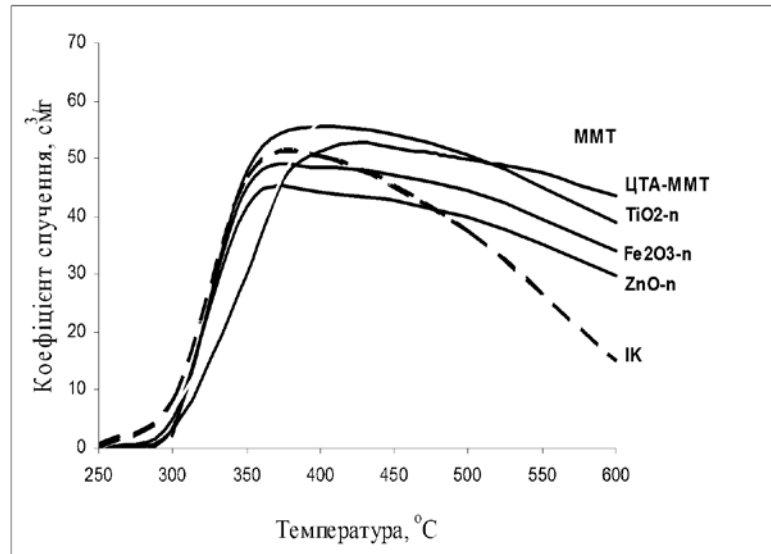


Рис. 7. Залежність коефіцієнта спучування K ($\text{см}^3/\text{г}$) композицій ПФА/ПЕ/МА з домішками нанополук від температури T ($^{\circ}\text{C}$)

З даних рис. 8 походить, що майже в усьому інтервалі температурної дії додавання в інтумесцентну систему нанополук значно знижує втрату маси зразків в порівнянні з базовою інтумесцентною композицією. Маса коксових залишків інтумесцентних композицій, що містять нанополуки, при температурі 600°C на 10 – 20 % перевищує масу коксового залишку базової ІК. Найбільш ефективними у збереженні маси інтумесцентного складу при дії високих температур є нанорозмірний оксид титану та ЦТА-ММТ. З цього випливає, що основна функція наноречовин, введених до складу інтумесцентної композиції ПФА/ПЕ/МА, полягає в утворенні коксового шару, термостабільного при температурах вище 500°C . Додавання наосполук в ІК позитивно впливає на характер спучування і величину коефіцієнта спучування, а також значно уповільнює швидкість втрати маси.

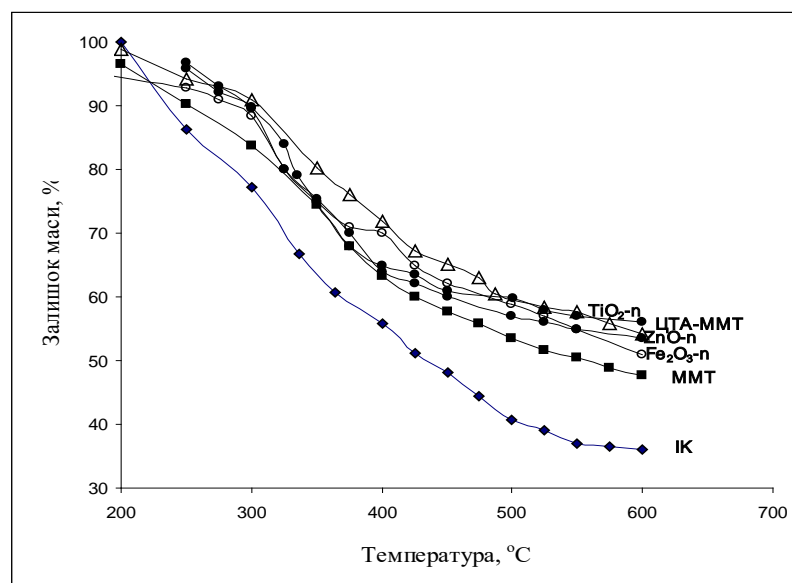


Рис. 8. Залежність значень залишку маси (%) композицій ПФА/ПЕ/МА з домішками нанополук від температури T ($^{\circ}\text{C}$)

Таким чином, дані дослідження розширюють практичні можливості модифікації інтумесцентних композицій з метою поліпшення їх вогнезахисних властивостей, розробки рецептур і технології вогнезахисних матеріалів, що спучуються, різного функціонального призначення.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф71-2017.

Библиографический список

1. Машляковский, Л.Н. Органические покрытия пониженной горючести / Л.Н. Машляковский, А.Д. Лыков. – Л. : Химия, 1989. – 183 с.
2. Рубан, Л.В. Роль интумесценции в проблеме защиты полимеров / Л.В.Рубан, Г.Е. Зайков // Пласт. массы. – 2000. – № 1. – С. 10 – 15.
3. Ненахов, С.А. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония / С.А. Ненахов, В.П.Пименова // Пожаровзрыво-безопасность. – 2010. – Т.19, №8. – С.11 – 58.
4. Твердофазный аминолиз в системе полифосфат аммония–пентаэритрит–амин/ Л.Н.Вахитова, Н.А. Таран, М.П. Лапушкин [и др.] // Теор. и эксперим. химия. — 2012. — №3. — С.163–167.
5. Synthesis of phosphorus-based flame retardant systems and their use in an epoxy resin/ A. Toldy, N. Toth, P. Anna, G. Marosi // Polymer Degradation and Stability. – 2006. – Vol. 91, №3. – P. 585 – 592.
6. Херд, Ч.Д. Пиролиз соединений углерода / Ч.Д. Херд. – Л. ; М. : Главхимтехиздат, 1938. – 776 с.
7. Fire Retardancy of Polymers: New Strategies and Mechanisms/ T. Richard Hull and Baljinder K. Kandola // Royal Society of Chemistry. – Cambridge: Thomas Graham House, 2009. – 454 p.
8. Fire Retardancy of Polymers. New Applications of Mineral Filler/ Ed. by Michel Le Bras, Charles A. Wilkie, Serge Bourbigot, Sophie Duquesne Charafeddine Jama // The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Cambridge, 2005. — 664 p.
9. Bourbigot, S. Fire retardant polymers: recent developments and opportunities / S. Bourbigot // J. Mat. Chem. — 2007. — № 17. — P. 2283–2300.
10. Use of oxide nanoparticles and organoclays to improve thermal stability and fire retardancy of poly(methyl methacrylate) / A. Laachachi, E.Leroy, M. Ferriol, M. Cochez, D. Ruch, J.-M. Lopez-Cuesta // Polymer Degradation and Stability. – 2005. – Vol. 89. – P. 344 – 352.
11. The catalytic role of oxide in the thermooxidative degradation of poly(methyl methacrylate)-TiO₂ nanocomposites/ A. Laachachi [et al.] // Polymer Degradation and Stability. – 2008. – Vol. 93. – P. 1131 – 1137

Надійшла до редакції 21.04.2017

Н.А. Таран

Індустріальний інститут ГВУЗ «Донецького національного технічного університету» МОН України, г. Покровск

Л.Н. Вахитова

Інститут фізико-органічної хімії і углекислоти ім. Л.М. Литвиненко НАН України, г. Київ

С.П. Придятько

Індустріальний інститут ГВУЗ «Донецького національного технічного університету» МОН України, г. Покровск

В.И. Бессарабов

Київський національний університет технологій і дизайну, Україна, г. Київ

А.П. Прудченко, А.Ф. Попов

Інститут фізико-органічної хімії і углекислоти ім. Л.М. Литвиненко НАН України, г. Київ

РЕГУЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КОМПОНЕНТОВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Исследовано влияние химической структуры компонентов интумесцентных систем на огнезащитную эффективность покрытий. Доказано, что свойства образованного пенококса огнезащитного покрытия зависят от химической природы ингредиентов: полифосфат аммония, пентаэритрит и полифункциональные газообразователи являются наиболее оптимальными компонентами, которые способствуют образованию пространственно сшитых структур вспененного слоя. Изучен эффект добавок оксидов и гидроксидов металлов, наноглин и наноксидов металлов на огнезащитную эффективность интумесцентных композиций. Показано, что наиболее эффективными являются смеси, которые содержат в своем составе наночастицы оксида титана и органоглину. Данные исследования расширяют практические возможности модификации интумесцентных композиций с целью улучшения их огнезащитных свойств, разработки рецептур и технологии создания огнезащитных вспученных материалов различного функцио-

нального назначення.

Ключевые слова: интумесцентная система, огнезащита, антипирены, коэффициент вспучивания, наноглина, наноксиды металлов

N. Taran

Industrial institute of state higher educational establishment Donetsk national technical university, Ukraine, Pokrovsk

L. Vahytova

The L.M. Litvinenko Institute of physical organic and coal chemistry of National academy of sciences of Ukraine, Kyiv

S.P. Prydatko

Industrial institute of state higher educational establishment Donetsk national technical university, Ukraine, Pokrovsk

V.I. Bessarabov

Kyiv national university of technology and design, Ukraine, Kyiv

A.P. Prudchenko, A.F. Popov

The L.M. Litvinenko Institute of physical organic and coal chemistry of National academy of sciences of Ukraine, Kyiv

REGULATION OF CHEMICAL STRUCTURE OF COMPONENTS IN FLAME RETARDANT COMPOSITIONS

The influence of chemical structure of the components in intumescent systems on flame retardant efficiency of coating has been studied. It has been proved that the properties of the formed fire proof coating char foam depend on the chemical nature of the ingredients: ammonium polyphosphate, pentaerythritol and polyfunctional blowing agents are the most optimal components that promote the formation of spatially crosslinked structures of the foam layer. The effect of additives of metal oxides and hydroxides, nanoclay and metal nanooxides on the flame retardant efficiency of intumescent compositions was studied. It was shown, that the mixtures that contain in their composition nanoparticles of titanium oxide and organoclay are the most effective. These studies expand the practical possibilities of modifying intumescent compositions with the aim of improving their flame retardant properties, developing formulations and technologies of creating flame retardant expanded materials for various functional purposes.

Key words: intumescent system, fire protection, flame retardants, intumescence coefficient, nanoclay, metal nanooxides