

УДК 678.7+  
661.174

ТАРАН Н. А.<sup>1</sup>, КАЛАФАТ К. В.<sup>2</sup>, ВАХІТОВА Л. М.<sup>1</sup>, ПЛАВАН В. П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України

<sup>2</sup>Київський національний університет технологій та дизайну

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОЛІМЕРНОГО ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРИТТЯ

**Мета.** Вивчення впливу інтумесцентних комплексних сполук на основі амінопохідних 2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспіро[5,5]ундекану на вогнестійкі властивості та водостійкість співполімеру етилену з вінілацетатом у складі вогнезахисних полімерних композицій.

**Методика.** Структуру інтумесцентних сполук підтверджено методами елементного аналізу та ІЧ-спектроскопії, термогравіметричний аналіз використали для дослідження вогнезахисних властивостей інтумесцентних систем.

**Результати.** Розроблено методики синтезу інтумесцентних сполук на основі 2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспіро[5,5]ундекану та карбаміду, меламіну, диціандіаміду і їх сумішей. Доведено, що синтезовані сполуки підвищують вогнестійкі властивості співполімеру етилену з вінілацетатом, проявляють інтумесцентну дію та приймають участь у побудові коксового теплоізоляційного шару. Показано, що водостійкість вогнезахисних систем за участю інтумесцентних комплексних сполук значно вища, ніж систем складу поліфосфат амонію/меламін/пентаеритрит. Коефіцієнт спучення інтумесцентних систем, які містять інтумесцентні сполуки, після гідротермальних впливів зменшується на 10 – 20 %, в той час, як коефіцієнт спучення традиційної інтумесцентної системи в тих же умовах зменшується на 40 %.

**Наукова новизна.** За результатами прискорених гідротермальних випробувань визначена стійкість полімерних інтумесцентних покриттів за участю інтумесцентних комплексних сполук до дії вологи в умовах перепаду температур.

**Практична значимість.** Отримані результати свідчать про перспективність застосування досліджених інтумесцентних сполук для створення нових вогнезахисних покриттів для деревини з підвищеним терміном експлуатації.

**Ключові слова:** вогнезахисне полімерне покриття, вогнестійкі властивості, інтумесцентна сполука, гідротермальні випробування, коефіцієнт спучення.

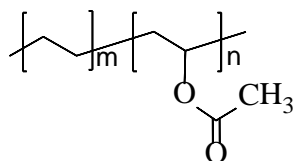
**Вступ.** Вогнезахист будівельних конструкцій є невід'ємною частиною сучасного будівництва та передбачається нормативними актами та стандартами. Найбільш затребуваним вогнезахисним матеріалом є тонкошарові інтумесцентні (такі, що спучуються) покриття [1, 2]. Традиційна інтумесцентна система зазвичай складається з таких основних компонентів: донор кислоти (фосфати, поліфосфати амонію (APP)); карбонізуючий агент (поліспирти, як правило, пентаеритрит (PER)); газоутворювач (похідні меламіну (MA), диціандіаміду, карбаміду), полімер [3, 4]. Полімерна складова інтумесцентної системи має одне із ключових значень у процесі формування коксового шару [6, 7], який захищає конструкцію протягом певного часу від втрати несучої здатності чи інших критичних станів, що провокують розвиток пожежі. Як плівкоутворювачі в вогнезахисних інтумесцентних покриттях використовуються акрилові співполімери, вінілацетатні та акрилові дисперсії, епоксидні смоли, тощо [4]. У водно-дисперсійних інтумесцентних складах найчастіше застосовуються співполімери етилену з вінілацетатом (EVA).

Окрім вимог щодо термостабільності та вогнестійких властивостей полімеру інтумесцентного покриття однією із функцій полімерного зв'язуючого є забезпечення стійкості покриття до вологи та атмосферних впливів, що підвищує термін експлуатації та розширює умови застосування вогнезахисного матеріалу [1, 4]. Одним із рішень проблеми зниження водорозчинності полімерної ІС може бути використання азот- та фосфоромісних інтумесцентних комплексних сполук (ІКС) [8, 9], які містять у своєму складі функції донора кислоти, карбонізуючого агенту та газотворювача [10–12].

Літературні дані щодо застосування ІКС в вогнезахисних полімерних композиціях є поодинокими та не систематичними. Тому дослідження інтумесцентних сполук, які містять функції донора кислоти (фосфат), карбонізуючого агенту (поліол) та газотворювача (амін) у складі типового полімерного вогнезахисного покриття, мають значний науковий та практичний інтерес.

**Постановка завдання.** Метою роботи є вивчення впливу інтумесцентних комплексних сполук на основі амінопохідних 2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспіро[5,5]ундекану на вогнестійкі властивості та водостійкість співполімеру етилену з вінілацетатом у складі вогнезахисних полімерних композицій.

**Матеріали і методи дослідження.** В дослідженні використовували 50 %-ну дисперсію співполімеру етиленвінілацетату із вмістом вінілацетату до 17 % – Mowilith LDM 1780 (Clariant, Німеччина) формули:



Для синтезу інтумесцентних комплексних сполук застосовували поліфосфат амонію типу II CF-APP 201 (Shifang Changfeng Chemical Co., Ltd., Китай), пентаеритрит мікронізований марки RN-P40, меламін RN-M40 (Roshal Group, РФ), карбамід (ПАТ «Азот», Україна), диціандіамід (AlzChem Group AG, Німеччина), п'ятиокис фосфору (Chem Fine International Co., Ltd., Китай).

Синтез інтумесцентних комплексних сполук, які далі за текстом позначені (1) – (4), проводили за наступною методикою: 3-карбамідо-9-(2',4',6'-триаміно-1'3'5'-триазиніл)-2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспіро[5,5]ундекан (4). У трьохгорлу колбу, забезпечену зворотним холодильником і мішалкою, ємністю 1 л вносили 166 г (1,22 моль) пентаеритриту і 200 мл води. При інтенсивному перемішуванні повільно додавали 300 г (1,06 моль) п'ятиокису фосфору. Суміш перемішували протягом 0,5 год при кімнатній температурі та при нагріванні на водяній бані протягом 2 год. Потім суміш охолоджували до кімнатної температури і додавали 65 г (1,08 моль) подрібненого карбаміду та 130 г (1,03 моль) меламіну. При інтенсивному перемішуванні суміш витримували 2 год при 60 °С, фільтрували, промивали охолодженою водою. Осад витримували при температурі 100 °С протягом 5 год. Отримали 463 г (83% від теор.). Знайдено, %: С 27,01; Н 3,51; Р 11,74. Брутто-формула C<sub>13</sub>H<sub>20</sub>N<sub>16</sub>P<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. Обчислено, %: С 27,96; Н 3,58; Р 11,11. ІЧ-спектр (KBr, см<sup>-1</sup>): 3402 (ОН), 3160 (NH<sub>2</sub>), 2926-2854 (CH<sub>2</sub>), 2361, 1403 (O-P=O), 1718 (C=O), 1632 (=C=), 1558, 1435 (C-N), 1242 (C-O-P=O), 1090 (P=O), 1040 (P-O-C), 892 (N-H).

Аналогічно отримували: інші інтумесцентні сполуки: 3,9-дикарбамідо-2,4,8,10-

тетраокса-3,9-дифосфаспіро[5,5]ундекан (1). Вихід - 289 г (84% від теор.). Знайдено, %: С 23,72, Н 3,85, Р 16,73. Брутто-формула  $C_{11}H_{18}N_{12}P_2O_6$ . Обчислено, %: С 24,41; Н 4,07; Р 18,02. ІЧ-спектр (KBr,  $cm^{-1}$ ): 3400 (ОН), 3160 ( $NH_2$ ), 2934-2860 ( $CH_2$ ), 2365, 1408 (O-P=O), 1715 (C=O), 1635 (=C=), 1239 (C-O-P=O), 1087 (P=O), 1042 (P-O-C), 897 (N-H).

3,9-ди(2'-дициандіамідо)2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспіро[5,5]ундекан (2). Вихід - 360 г (92% від теор.). Знайдено, %: С 27,02; Н 4,15; Р 14,73. Брутто-формула  $C_9H_{14}N_8P_2O_6$ . Обчислено, %: С 27,55; Н 3,57; Р 15,82. ІЧ-спектр (KBr,  $cm^{-1}$ ): 3405 (ОН), 3167 ( $NH_2$ ), 2952-2860 ( $CH_2$ ), 2365, 1408 (O-P=O), 2100 (C=N=N), 1635 (=C=), 1569, 1436 (C-N), 1224 (C-O-P=O), 1069 (P=O), 1041 (P-O-C), 892 (N-H).

3,9-ди(2',4',6'-триаміно-1'3'5'-триазиніл)-2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспіро[5,5]ундекан (4). Вихід - 402 г (87% від теор.). Знайдено, %: С 27,02, Н 4,15, Р 13,73. Брутто-формула  $C_{11}H_{18}N_{12}P_2O_6$ . Обчислено, %: С 27,73; Н 3,78; Р 13,03. ІЧ-спектр (KBr,  $cm^{-1}$ ): 3400 (ОН), 3159 ( $NH_2$ ), 2926-2854 ( $CH_2$ ), 2361, 1400 (O-P=O), 1632 (=C=), 1558, 1464 (C-N), 1238 (C-O-P=O), 1047 (P-O-C), 890 (N-H).

Приготування інтумесцентних композицій. В бісерний млин вносили 60 г ІКС та 25 г води. Суміш перемішували протягом 0,5 год. До подрібненої ІКС додавали 20 г співполімеру EVA та перемішували протягом 1 год. Отримували суміші (ІКС+ EVA).

Для гідротермальних випробувань 50 г ІКС, 10 г оксиду титану, 25 г води перемішували у бісерному млині протягом 0,5 год. До суміші додавали 20 г співполімеру EVA та перемішували протягом 1 год. Виготовляли зразки ПК-1 – ПК-5 у вигляді плівок розміром 30 x 30 мм та товщиною ( $2,0 \pm 0,2$ ) мм для двох серій експерименту. Для цього інтумесцентну полімерну композицію наносили на поліетиленову основу, сушили протягом 21 доби. Плівки розміщались у кліматичній камері з відносною вологістю ( $95 \pm 5$ ) %. Температура змінювалась через кожні 30 днів: ( $5 \pm 3$ ) °С та ( $40 \pm 3$ ) °С. Через визначені проміжки часу плівки виймали з кліматичної камери та визначали коефіцієнт спучення.

Визначення коефіцієнта спучення детально описано у роботі [13]. Кисневий індекс визначали на приладі для вимірювання кисневого індексу МТ 252.

**Результати дослідження.** За методиками, що описані в експериментальній частині, синтезовано ряд інтумесцентних сполук, структурні формули яких наведено на рис. 1.

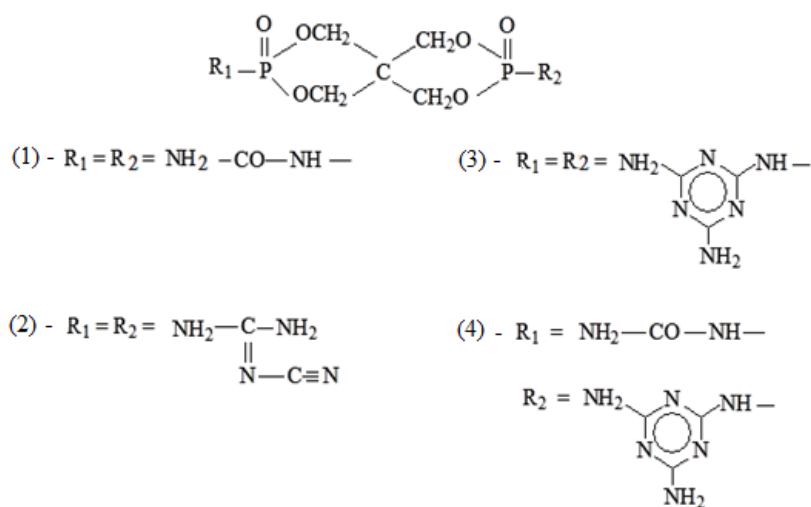


Рис. 1. Структура інтумесцентних сполук (1) – (4)

Ідентичність отриманих сполук доведено методами елементного аналізу та ІЧ-спектроскопії (дані наведено в методиках синтезу відповідних сполук).

Вогнезахисну ефективність отриманих сполук (1) - (4) і композицій складу EVA + сполука ((1) - (4)) при співвідношенні компонентів 1 : 3 (за мас.) оцінювали шляхом визначення об'ємного коефіцієнта спучення  $K$  ( $\text{см}^3/\text{г}$ ) та втрати маси зразків  $\Delta m$  (%) в інтервалі температур 100-700 °С. На рис. 2 представлена залежність об'ємного коефіцієнта спучення  $K$  ( $\text{см}^3/\text{г}$ ) від температури для описаних вище інтумесцентних сполук (1) - (4).

Як походить з даних рис. 2, найбільшим коефіцієнтом спучення характеризується сполука (4), що містить у своєму складі карбамід та меламін. При цьому вид залежності  $K$  від  $T$ , представленої на рис. 2.а, (4), демонструє раннє спучення при 200 °С з подальшим стрімким розкладанням коксового шару без стабілізаційної ділянки в інтервалі високих температур. Відсутність стабілізаційної ділянки характерна й для сполуки (1), де як газоутворювач виступає карбамід.

Слід відмітити, що у суміші з EVA високі значення  $K$  для сполуки (4) зберігаються в більш широкому температурному інтервалі 300-500 °С (рис. 2.б), а розкладання коксового залишку відбувається досить повільно. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що сполука (4) проявляє найбільший вогнезахисний ефект по відношенню до EVA в порівнянні з іншими дослідженими сполуками, а максимальна величина коефіцієнта спучення як для індивідуальних сполук, так і для суміші з співполімером зменшується у ряду: (4) > (3) > (1) > (2).

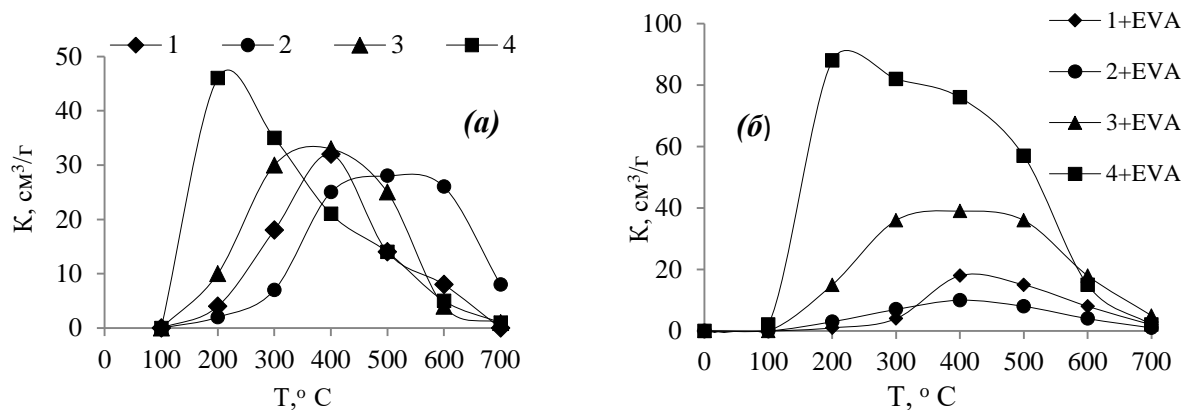


Рис.2. Залежність об'ємного коефіцієнта спучення  $K$  ( $\text{см}^3/\text{г}$ ) інтумесцентних сполук (1) - (4) (а) та їх сумішей з полімером EVA (б) від температури  $T$  (°С)

Цей висновок не протирічить значенням кисневого індексу (ОІ, табл. 1), який був визначений для сумішей EVA+ІКС (5 : 3 за мас.). Збільшення ОІ за участю інтумесцентних фосфатних сполук обумовлене створенням об'ємного негорючого коксу із зовнішнім екраном фосфатної кислоти, який розділяє піролізну зону від полум'яного тепла і зменшує вивільнення горючих піролізних газів [14].

Таблиця 1.

Порівняння вогнезахисної дії ІКС у системах зі співполімером EVA

Показник	EVA	EVA+1	EVA+2	EVA+3	EVA+4	EVA+APP/MA/PER
ОІ, об.%	18	29	33	39	38	41
100 – Δm, %	5	14	22	18	29	37
K <sub>макс</sub> , см <sup>3</sup> /г	–	18	10	39	88	35

Порівняння даних з термічної деструкції співполімеру EVA та сумішей EVA + ІКС (рис. 2.б) та рис. 3.б), а також дані табл. 1, однозначно свідчать про суттєву вогнезахисну дію досліджених сполук (1) – (4) по відношенню до EVA: ІКС на 9-24 % збільшують коксовий залишок при температурі 700 °С (табл. 1).

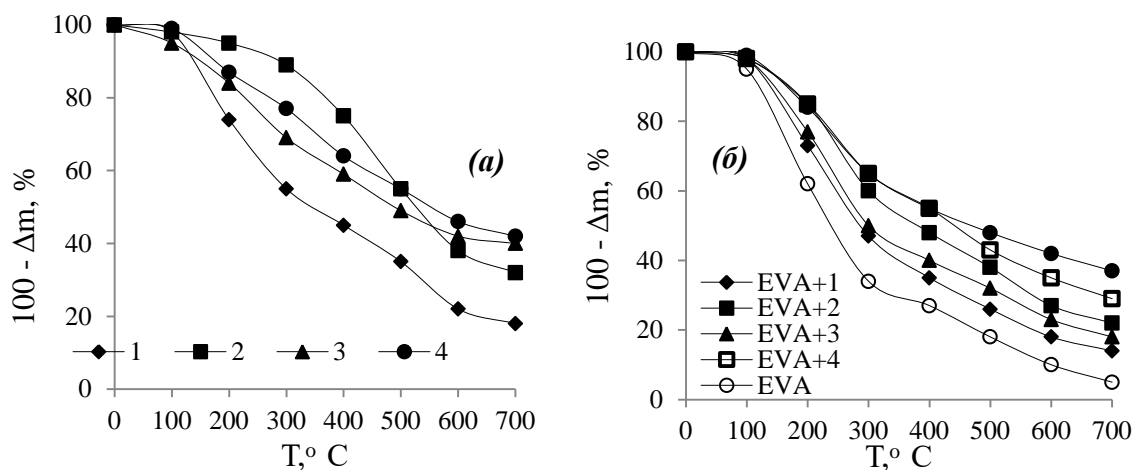


Рис. 3. Результати термогравіметричних досліджень інтумесцентних систем

Для визначення впливу вологи на інтумесцентні покриття, що містять сполуки (1) – (4), були проведені гідротермальні випробування композицій ПК-1 – ПК-5. За даними табл. 2 очевидно, що заміна традиційної інтумесцентної системи APP/MA/PER на інтумесцентну сполуку (1) – (4) підвищує ступінь збереження хімічного складу інтумесцентного покриття про що свідчить рівень зниження значення коефіцієнта спучування K.

Таблиця 2.

Зміна коефіцієнта спучування (K, см<sup>3</sup>/г) інтумесцентних покриттів після витримки при відносній вологості (95 ± 5) %

Доби	ІС-1	ІС-2	ІС-3	ІС-4	ІС-5
0	22	14	35	74	35
120	18	13	30	67	21
Зниження K, %	18	7	14	9	40

Отримані результати демонструють, перш за все, можливість використання інтумесцентних комплексних сполук у парі з полімером EVA для створення нових вогнезахисних тонкошарових покриттів для деревини, особливо для умов експлуатації, де

можливі перепади температурного режиму та вологості.

**Висновки.** Встановлено, що синтезовані інтумесцентні сполуки – амінопохідні 2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспіро[5,5] ундекану підвищують термостабільність та вогнезахисні властивості співполімеру етилену з вінілацетатом та можуть бути застосовані як антипірени для термопластів поліетиленового типу. Застосування суміші EVA + ІКС є перспективним напрямком при створенні нових інтумесцентних покриттів з підвищеним терміном експлуатації.

### Література

1. Wang J. The protective effects and aging process of the topcoat of intumescent fire-retardant coating applied to steel structures. *Coating. Tech. Res.* 2016. V. 13 (1). P. 143-157.
2. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: a review. *J. Fire Sci.* 2016. V. 34. P. 120-163.
3. Ravindra G.P., Khanna A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress. *J. Coat Technol Res.* 2016. V. 8. P.1-20.
4. Ненахов С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония. *Пожаровзрывобезопасность.* 2010. т.19, №8. С.11-58.
5. Hull T. R., Kandola B. K. Fire Retardancy of Polymers: New Strategies and Mechanisms. Royal Society of Chemistry. Cambridge: Thomas Graham House. 2009. 454 p.
6. Montaudo G., Scamporrino E., Vitalini D. Intumescent flame retardants for polymers. II. The polypropylene-ammonium polyphosphate-polyurea system. *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.* 1983. № 21. P. 3361-3363.
7. Jimenez M., Duquesne S., Bourbigot S. Intumescent fire protective coating: toward a better understanding of the ir mechanism of action. *Thermochimica Acta.* 2006. V. 449. P.16-26.
8. Phosphorus-Containing Flame Retardants from Biobased Chemicals and Their Application in Polyesters and Epoxy Resins / J. Sag et al. *Molecules.* 2019. V. 24. P. 3746-3777.
9. Wang Q.F., Shi W.F. Synthesis and thermal decomposition of a novel hyperbranched polyphosphate ester used for flame retardant systems. *Polym. Degrad. Stab.* 2006. V. 1. P. 1289-1290.
10. Bourbigot S., Duquesne S. Fire retardant polymers: recent developments and opportunities. *J. Mat. Chem.* 2007. № 17. P.2283- 2300.

### References

1. Wang J. (2016). The protective effects and aging process of the topcoat of intumescent fire-retardant coating applied to steel structures. *Coating. Tech. Res.* 13(1). 143-157.
2. Mariappan T. (2016). Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: a review. *J. Fire Sci.* 34. 120-163.
3. Ravindra G.P., Khanna A.S. (2016). Intumescent coatings: A review on recent progress. *J. Coat Technol Res.* 8. 1-20.
4. Nenakhov S.A., Pimenova V.P. (2010). Fiziko-khimiya vspenivayushchikhsya ognezashchitnykh pokrytiy na osnove polifosfata ammoniya [*Physics and chemistry of expandable fire retardant coatings based on ammonium polyphosphate*]. *Pozharovzryvobezopasnost' - Fire and explosion safety.* 19. 8. 11-58. [in Russian].
5. Hull T. R., Kandola B. K. (2009). Fire Retardancy of Polymers: New Strategies and Mechanisms. Royal Society of Chemistry. Cambridge: Thomas Graham House. 454.
6. Montaudo G., Scamporrino E., Vitalini D. (1983). Intumescent flame retardants for polymers. II. The polypropylene-ammonium polyphosphate-polyurea system. *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.* 21. 3361-3363.
7. Jimenez M., Duquesne S., Bourbigot S. (2006). Intumescent fire protective coating: toward a better understanding of the ir mechanism of action. *Thermochimica Acta.* 449. 16-26.
8. Ma Z.L., Zhao W.G., Liu Y.F., Shi J.R. (1997). Synthesis and properties of intumescent, phosphorus-containing, flame-retardant polyesters. *J. Appl. Polym. Sci.* 63. 12. 1511-1515.
9. Wang Q.F., Shi W.F. (2006). Synthesis and thermal decomposition of a novel hyper branched polyphosphate ester used for flame retardant systems. *Polym. Degrad. Stab.* 1. 1289-1290.
10. Bourbigot S., Duquesne S. (2007). Fire retardant polymers: recent developments and opportunities. *J. Mat. Chem.* 17. 2283- 2300.
11. Ye X., Wang Y., Zhao Zh., Yan H. (2017). A novel hyper branched poly(phosphorodiamidate) with high

11. A novel hyperbranched poly(phosphorodiamidate) with high expansion degree and carbonization efficiency used for improving flame retardancy of APP/PP composites / X. Ye et al. *Polym. Degrad. Stab.* 2017. № 142. P. 29-41.  
12. Steinbach T., Wurm F.R. Poly(phosphoester)s: a new platform for degradable polymers. *Angew. Chem. Int. Ed.* 54 (21). P. 6098-6108.  
13. Влияние структуры амина на огнезащитную эффективность системы полифосфат аммония/пентаэритрит/амин / Л.Н. Вахитова и др. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія.* 2014. № 1(22). С. 142-149.  
14. Flame-Retardancy Properties of Intumescent Ammonium Poly(Phosphate) and Mineral Fill Magnesium Hydroxide in Combination with Graphene / B. Dittrich et al. *Polymers.* 2014. № P. 2875-2895.

expansion degree and carbonization efficiency used for improving flame retardancy of APP/PP composites. *Polym. Degrad. Stab.* 142. 29-41.  
12. Steinbach T., Wurm F.R. (2015). Poly(phosphoester)s: a new platform for degradable polymers. *Angew. Chem. Int. Ed.* 54 (21). 6098-6108.  
13. Vakhytova L.N., Taran N.A., Lapushkyn M.P., Rybak V.V., V.L. Dryzhd, Ya.F. Burdyna (2014). Vlyaniye struktury amyna na ohnezashchytnuiu efektyvnost systemy polyfosfat ammoniya/pentaerytryt/amyn [The effect of the amine structure on the flame retardant efficiency of the ammonium polyphosphate/ pentaerythritol/amine system]. *Naukovi pratsi DonNTU. Serii: Khimiia i khimichna tekhnolohiia - Scientific works of DonNTU. Series: Chemistry and Chemical Technology.* 1(22). 142-149. [in Ukrainian].  
14. Dittrich B., Wartig K-A., Mülhaupt R., Schartel B. (2014) Flame-Retardancy Properties of Intumescent Ammonium Poly(Phosphate) and Mineral Filler Magnesium Hydroxide in Combination with Graphene. *Polymers.* 6. 2875-2895.

TARAN NADEZHDA

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=15119449100>

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4638-3241>

Department of Nucleophilic Reaction Research

L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry NAS of Ukraine, Kyiv

VAKHITOVA LIUBOV

ResearcherID: J-9402-2016

ORCID:<http://orcid.org/0000-0003-4727-9961>

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8443383300>

*Nucleophilic Reaction Research*

L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry NAS of Ukraine, Kyiv

PLAVAN VIKTORIIA

ResearcherID: I-5852-2015

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9559-8962>

Department of Applied Ecology, Technology of

Polymers and Chemical Fiber, Kyiv National

University of Technologies and Design

KALAFAT KOSTYANTYN

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5038-0601>

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193029711>

Department of Applied Ecology, Technology of

Polymers and Chemical Fibers

Kyiv National University of Technologies and Design

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОЛИМЕРНОГО ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРЫТИЯ

ТАРАН Н. А.<sup>1</sup>, КАЛАФАТ К. В.<sup>2</sup>, ВАХИТОВА Л. М.<sup>1</sup>, ПЛАВАН В. П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко НАН Украины

<sup>2</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Изучение влияния интумесцентных комплексных соединений на основе аминопроизводных 2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспиро[5,5]ундекана на огнестойкие свойства и водостойкость сополимера этилена с винилацетатом в составе огнезащитных полимерных композиций.

**Методика.** Структуру интумесцентных соединений подтверждено методами элементного анализа и ИК-спектроскопии, огнезащитные свойства интумесцентных систем исследовали с привлечением метода термогравиметрического анализа.

**Результаты.** Разработаны методики синтеза интумесцентных соединений на основе 2,4,8,10-тетраокса-3,9-дифосфаспиро[5,5]ундекана и карбамида, меламина, дициандиамида, а также их смесей. Доказано, что синтезированные соединения повышают огнестойкие свойства сополимера этилена с винилацетатом, проявляют интумесцентное действие и принимают участие в построении коксового теплоизоляционного слоя. Показано, что водостойкость огнезащитных систем с участием интумесцентных комплексных соединений значительно выше, чем для систем состава полифосфат аммония/меламин/пентаэритрит. Коэффициент вспучивания интумесцентных систем, содержащих интумесцентные соединения, после гидротермальных воздействий уменьшается на 10 - 20%, в то время, как коэффициент вспучивания традиционной интумесцентной системы в тех же условиях уменьшается на 40%.

**Научная новизна.** По результатам ускоренных гидротермальных испытаний определена устойчивость полимерных интумесцентных покрытий с участием интумесцентных комплексных соединений к действию влаги в условиях перепада температур.

**Практическая значимость.** Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения исследованных интумесцентных соединений для создания новых технологий интумесцентных покрытий для древесины с повышенным сроком эксплуатации.

**Ключевые слова:** огнезащитное полимерное покрытие, огнестойкие свойства, интумесцентное соединение, гидротермальные испытания, коэффициент вспучивания.

## OPTIMIZATION OF PERFORMANCE PROPERTIES OF FLAME RETARDANT POLYMERIC INTUMESCENT COATING

TARAN N. A.<sup>1</sup>, KALAFAT K. V.<sup>2</sup>, VAKHITOVA L. M.<sup>1</sup>, PLAVAN V. P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>L.M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry NAS of Ukraine

<sup>2</sup>Kyiv National University of Technology and Design

**Purpose.** Study of the effect of intumescent complex compounds on the basis of aminoderivatives of 2,4,8,10-tetraoxa-3,9-diphosphaspiro[5,5]undecane on the flame retardant properties and water resistance of the ethylene vinyl acetate copolymer in the flame retardant polymer compositions.

**Methodology.** The structure of intumescent compounds has been confirmed by the methods of elemental analysis and IR spectroscopy, the flame retardant properties of the intumescent systems have been investigated using the method of thermogravimetric analysis.

**Findings.** Methods of synthesis of intumescent compounds based on 2,4,8,10-tetraoxa-3,9-diphosphaspiro[5,5]undecane and urea, melamine, dicyandiamide and mixtures there of have been developed. The synthesized compounds have been shown to enhance the flame retardant properties of the ethylene vinyl acetate copolymer, exhibit an intumescent effect and participate in the construction of a char thermal insulation layer. It has been shown that the water resistance of fire retardant systems with the participation of intumescent complex compounds is much higher than the systems of ammonium polyphosphate / melamine / pentaerythritol composition. The expansion coefficient of intumescent systems containing of intumescent compounds to decrease by 10 - 20% after hydrothermal effects, while, as the expansion coefficient of the traditional intumescent system in the same conditions is reduced by 40%.

**Originality.** According to the results of accelerated hydrothermal tests, the stability of polymeric intumescent coatings with the participation of intumescent complex compounds to the action of moisture under conditions of temperature difference was determined.

**Practical value.** The obtained results indicate the prospect of using the investigated intumescent compounds for the creation of new technologies of intumescent coatings for wood with a long operation life.

**Keywords:** flame retardant polymer coating, flame retardant properties, intumescent compound, hydrothermal tests, expansion coefficient