

УДК 667.637.4:699.81

**Л. М. Вахігова<sup>1</sup>, Н. А. Таран<sup>2</sup>, В. Л. Дріжд<sup>2</sup>, С. П. Придятько<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Інститут органічної хімії НАН України  
вул. Мурманська, 5, м.Київ-94, 02660, Україна  
e-mail: lu5005@mail.ru

<sup>2</sup>Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України  
вул. Харківське шосе, 50, м. Київ-160, 02160, Україна  
e-mail: taran5005@mail.ru

<sup>3</sup>Красноармійський індустріальний інститут ДВНЗ «ДонНТУ»  
пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, 85300, Україна  
e-mail: kii\_gior@ukr.net

### **ВОГНЕЗАХИСНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРИТТЯ З ДОМІШКАМИ НАНОДИСПЕРСНИХ РЕЧОВИН ЗА УМОВ ГІДРОТЕРМАЛЬНОГО СТАРІННЯ**

Показано, що домішки нанодисперсних речовин у вогнезахисну інтумесцентну композицію підвищують її вогнезахисну ефективність та стійкість до впливу агресивних атмосферних чинників. Встановлено, що руйнування покриття за умов гідротермального старіння розпочинається з вимивання пентаеритриту та поліфосфату амонію. Присутність органічної та нанодисперсного оксиду титану значно уповільнює цей процес. Показано, що інтумесцентна композиція з додаванням цетилтриметиламоній монтморилоніту має найбільшу вогнезахисну ефективність.

**Ключові слова:** вогнезахисна ефективність, антипірен, органічна, нанодисперсний оксид титану, співполімер етилену і вінілацетату, метод гідротермального старіння.

У сучасному будівництві широко застосовуються конструкції, які згідно до вимог пожежної безпеки потребують підвищення їх вогнестійкості. Для цього застосовуються реактивні засоби вогнезахисту, які в умовах пожежі створюють на поверхні теплозахисний екран та уповільнюють нагрівання поверхні із збереженням її функціональних властивостей протягом заданого періоду часу.

На сьогоднішній день серед розмаїття засобів вогнезахисту широкої популярності набули інтумесцентні фарби завдяки декоративності та економічності створюваного покриття [1, 2]. У загальному випадку інтумесцентна система складається з чотирьох основних компонентів:

- поліолі – сполуки з великим вмістом вуглецю (пентаеритрит (ПЕ), ді-, трипентаеритрит, крохмаль, декстрин і інше);
- неорганічні кислоти або речовини, що виділяють кислоту при 100 – 250 °С (фосфорна кислота, її ефіри та солі, солі амонію, меламін фосфат, поліфосфат амонію (ПФА));
- аміді або аміні (меламін (МА), сечовина, диціандіамід, гуанідин);
- полімер – плівкоутворювач.

Однією з сучасних «зелених» технологій підвищення пожежної ефективності та безпеки інтумесцентних вогнезахисних покриттів є застосування нанодисперсних речовин, які у вигляді домішок або у складі нанокompозиту з полімерною матрицею суттєво покращують вогнезахисні та експлуатаційні властивості покриттів. Проблема підвищення нанодисперсними оксидами та органічними термостабільності та стійкості до впливу полум'я вогнезахисних матеріалів є інтен-

сивно досліджуваною, а опубліковані результати свідчать про позитивний ефект від використання цих сполук [3]. Незважаючи на те, що в літературі є достатньо даних з вивчення впливу нанодисперсних оксидів та нанодисперсних глин на вогнезахисні характеристики покриттів інтумесцентного типу, інформація з питання довговічності таких покриттів в різних експлуатаційних умовах та їх стійкості до впливу навколишнього середовища є обмеженою, тому дослідження в цій галузі є своєчасними і актуальними [4].

Збереження ефекту вогнезахисту покриттів в процесі тривалої експлуатації оброблених виробів важливо тому, що з часом він може бути частково або повністю, без помітних змін самого покриття, втрачений. В результаті знижується межа вогнестійкості конструкцій і порушується умова безпеки, згідно з якою фактична межа вогнестійкості конструкцій повинна бути не нижче необхідного (мінімально допустимого) рівня. У вітчизняних джерелах відсутні загальноприйняті методи випробувань з оцінки довговічності та атмосферостійкості застосовуваних вогнезахисних покриттів [5]. Це є однією з причин обмеженого проведення таких випробувань. Їх виконують окремі дослідники за допомогою вибраних ними методів, з урахуванням впливу атмосферних агресивних чинників, характерних для певних кліматичних регіонів [6, 7]. Тому для дослідження було використано розроблену авторами методику гідротермального старіння.

### Експериментальна частина

В якості базового вогнезахисного складу було досліджено водну інтумесцентну композицію типової рецептури ІС-0 – ПФА/ПЕ/МА/співполімер етилену з вінілацетатом ЕВА при співвідношенні компонентів 2 : 1,0 : 1,0 : 1,5. Методику приготування інтумесцентної системи описано в [8]. До цієї полімерної композиції прибавляли 0,44 частин оксиду титану (зразок ІС-1) або суміші оксиду титану з нанодисперсними речовинами (зразки ІС-2 та ІС-3). В якості нанодисперсних речовин було досліджено оксид титану n-TiO<sub>2</sub> (50 – 100 нм) та цетилтриметиламоній-монтморилоніт ЦТА-ММТ, який отримували за методикою [9]. Склад інтумесцентних систем наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Склад інтумесцентних систем

Шифр зразку		Склад зразку, % мас.		
		ІС	TiO <sub>2</sub>	Домішка
1	ІС-1	92	8	0
2	ІС-2	92	6	ЦТА-ММТ, 2 %
3	ІС-3	92	6	n-TiO <sub>2</sub> , 2 %

### Метод гідротермального старіння

Зразки інтумесцентних покриттів ІС-1 – ІС-3 виготовляли у вигляді плівок розміром 50 x 50 мм та товщиною (1,0 ± 0,2) мм для двох серій експерименту. Для цього фарбу наносили на поліетиленову основу, сушили протягом 21 доби, знімали з основи, вимірювали товщину за допомогою штангенциркуля та вирізали зразки

необхідного розміру. Виготовлені зразки плівок певної маси розміщували у кліматичній камері в вертикальному положенні: серія №1 – відносна вологість  $75 \pm 5$  %; серія № 2 – відносна вологість  $95 \pm 5$  %. Температура змінювалась через кожні 30 днів циклічно:  $(5 \pm 3)$  °C та  $(40 \pm 3)$  °C для кожної серії окремо.

Через визначені проміжки часу плівки виймали з кліматичної камери та досліджували зміну маси зразку, контролювали його хімічний склад методом ІЧ – спектроскопії та визначали коефіцієнт спучення.

Визначення коефіцієнта спучення інтумесцентних систем.

Об'ємний коефіцієнт спучення  $K$  ( $\text{см}^3/\text{г}$ ) визначали при нагріванні інтумесцентної плівки на металевій пластині при температурі 400 °C протягом 10 хв. Значення  $K$  розраховували за формулою:

$$K = h S/m,$$

де  $S$  – площа зразка, що спучується;  $h$  – висота спученого шару;  $m$  – маса наважки зразку.

#### Результати досліджень та їх обговорення

Метод гідротермального старіння не дозволяє спрогнозувати термін служби покриття у роках, проте дає інформацію щодо хімічних перетворень та зберігання цілісності покриття у процесі його експлуатації за умов Z2 та частково Z1 (в умовах високої вологості) при сезонних коливаннях температури у приміщенні від 5 до 40 °C та відносній вологості повітря від 75 до 95 % відповідно до вимог європейському стандарту ETAG 018 [10].

В табл. 2 наведено дані зміни маси зразків IC-1 – IC-3 протягом 840 діб при відносній вологості  $(75 \pm 5)$  %.

Таблиця 2

Зміна маси зразків ( $\Delta m$ , %) інтумесцентних покриттів після витримки при відносній вологості  $(75 \pm 5)$  %

Кількість діб	IC-1	IC-2	IC-3
7	+1,85	+1,23	+1,85
14	-0,37	-0,94	-0,37
30	+0,29	+1,08	+0,29
60	-0,45	-0,32	-0,45
120	+0,61	-0,42	+0,61
240	-2,53	-1,42	-2,53
360	-4,06	-2,15	-4,06
540	-4,54	-2,84	-4,54
840	-5,73	-3,96	-5,73

Примітка. «+» додавання маси, «-» – втрата маси

Втрата маси покриттів ІС-1 – ІС-3 приблизно однакова і складає 4 – 6 % від початкової ваги. Протягом перших шести місяців спостерігається зміна маси в межах  $\pm 1\%$  (що може бути похибкою вимірів або міграцією води). Стабільна втрата маси, яка може бути пов'язана з руйнуванням покриття, спостерігається після 200 діб витримки при вологості 75 %.

У більш жорстких умовах при вологості  $95 \pm 5\%$  (табл. 3) втрата маси вогнезахисних фарб складає 6 – 8 %, що трохи вище, ніж при вологості 75 %.

Можна констатувати: більш ніж за 2 роки не відбулося руйнування покриття, а його міцність мало відрізняється від міцності вихідних зразків. Поверхня покриттів ІС-2 та ІС-3 залишається суцільною, гладкою, без тріщин і зморщок, на відміну від зразку ІС-1, що придбав крихкість та дрібні дефекти на поверхні.

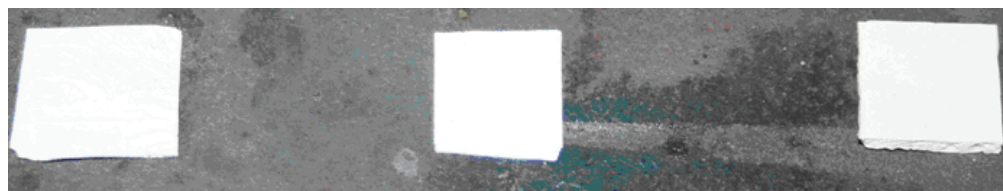
Таблиця 3

Зміна маси зразків (Dm, %) інтумесцентних покриттів після витримки при відносній вологості ( $95 \pm 5$ ) %

Кількість діб	ІС-2	ІС-3
30	+5	+2
120	+8	+5
360	-0,1	+2
540	-1,6	-2
720	-6,4	-8,4

Примітка. «+» додавання маси, «-» – втрата маси

На рис. 1 представлені зразки фарб ІС-1 – ІС-3 до та після спучення за умов витримки: вологість 75 % протягом 120 та 840 діб. Параметри спучення вогнезахисних фарб ІС-1 – ІС-3 наведено у табл. 4. Вони свідчать про те, що довгостроковий вплив вологи на інтумесцентні покриття знижує значення коефіцієнта спучення К на 20 – 21 % для ІС з нанодисперсними речовинами та на 31 % для ІС-1. При цьому слід зазначити, що підвищення вмісту вологи від 75 до 95 % негативно впливає на зразок ІС-2 з домішками  $n\text{-TiO}_2$  більшою мірою: зниження параметру К досягає 31 % (див. табл.5). В той же час домішки ЦТА-ММТ зумовлюють втрату значення К лише на 20 %. На наш погляд, цей факт пояснюється тим, що після гідротермальної обробки композиції відбувається порушення оптимального узгодження хімічних компонентів в досліджених покриттях, які спучуються, за рахунок міграції гідрофільних компонентів на поверхню покриття, що підтверджує аналіз ІЧ-спектрів досліджуваних об'єктів. Проте, органічна і нанодисперсний оксид титану, приймаючи участь в хімічних перетвореннях інтумесцентної композиції, роблять свій внесок у зростання термічної стійкості системи за рахунок прискорення реакцій окислювального дегідрування, що призводить до формування сполучених подвійних зв'язків, участі в процесах міжмолекулярного зшивання, каталізу процесів дегідратації, етерифікації, а також реакцій, пов'язаних з впровадженням атомів металів в структуру полімерного коксового залишку [1, 5].



IC-1

IC-2

IC-3



Після витримки 120 діб

IC-1

IC-2

IC-3



Після витримки 840 діб

IC-2

IC-1

IC-3

Рис. 1. Спучення зразків інтумесцентних покриттів після витримки при відносній вологості ( $75 \pm 5$ ) %

Для вивчення впливу домішок (ЦТА-ММТ та  $n\text{-TiO}_2$ ) на хімічні перетворення, що відбуваються в інтумесцентних системах за умов гідротермального старіння, було проаналізовано ІЧ-спектри інтумесцентних систем, одержаних після витримки протягом 840 діб при відносній вологості ( $75 \pm 5$ ) %.

Таблиця 4

Зміна коефіцієнта спучення ( $K$ ,  $\text{см}^3/\text{г}$ ) інтумесцентних покриттів після витримки при відносній вологості ( $75 \pm 5$ ) %

Кількість діб	ІС-1	ІС-2	ІС-3
7	35	51	33
14	32	50	31
30	36	54	41
60	34	51	41
120	32	54	31
240	31	47	30
360	27	41	27
540	22	37	28
840	24	41	26
Зниження $K$ , %	31	20	21

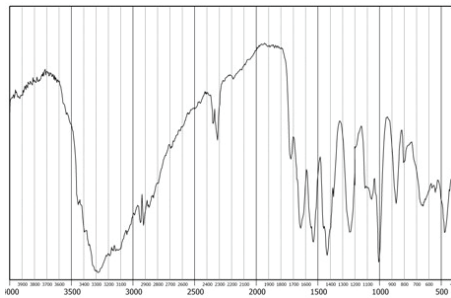
Таблиця 5

Зміна коефіцієнта спучення ( $K$ ,  $\text{см}^3/\text{г}$ ) інтумесцентних покриттів після витримки при відносній вологості ( $95 \pm 5$ ) %

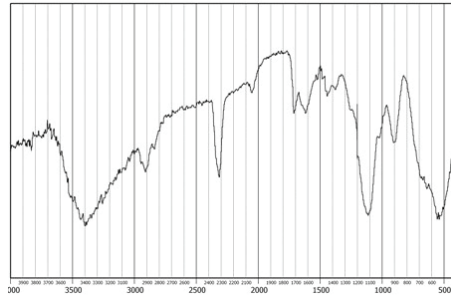
Кількість діб	ІС-2	ІС-3
30	59	49
120	55	41
360	52	37
540	51	38
720	48	34
Зниження $K$ , %	19	31

На рис. 2 наведено ІЧ-спектри інтумесцентних композицій ІС-1 – ІС-3 до і після кліматичних випробувань. ІЧ-спектри інтумесцентних систем містять смуги поглинання, типові для суміші ПЕ, ПФА, МА і співполімера ЕВА.

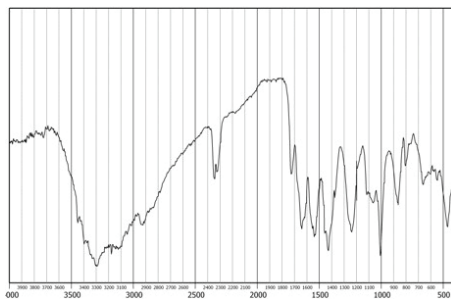
Абсорбційні максимуми при  $2880 - 2950 \text{ см}^{-1}$  відповідають валентним коливанням  $-\text{CH}_2-$ ,  $-\text{CH}_2-$  груп, а смуга  $1710 \text{ см}^{-1}$  – карбонільній групі полімеру. Смуги  $3321 \text{ см}^{-1}$ ,  $3176 \text{ см}^{-1}$ ,  $2957 \text{ см}^{-1}$  і  $1668 \text{ см}^{-1}$  вказують на  $\text{NH}$ -групу, що міститься в ПФА, МА,  $\text{OH}$ -зв'язок в ПЕ. Поглинання при  $1253 \text{ см}^{-1}$ ,  $1078 \text{ см}^{-1}$ ,  $1013 \text{ см}^{-1}$  і  $889 \text{ см}^{-1}$  відносяться до  $\text{P}=\text{O}$  зв'язку в ПФА,  $\text{C}-\text{O}-\text{H}$ -зв'язку в ПЕ,  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ -групи в співполімері ЕВА та триазинного кільця в МА відповідно.



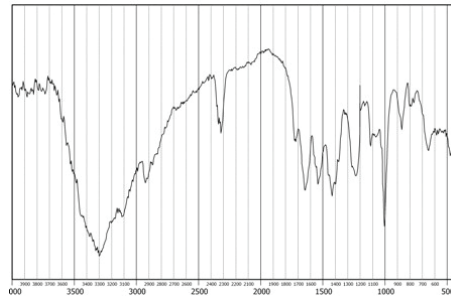
IC-1 (вихідний зразок)



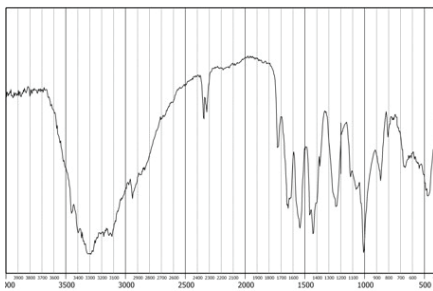
IC-1 (840 діб)



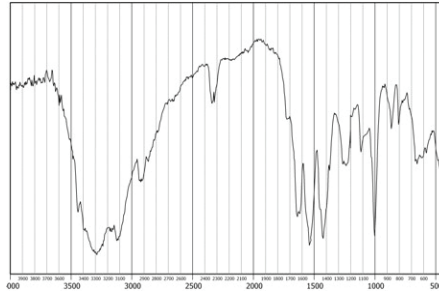
IC-2 (вихідний зразок)



IC-2 (840 діб)



IC-3 (вихідний зразок)



IC-3 (840 діб)

Рис. 2. ІЧ-спектри інтумесцентних покриттів після гідротермального впливу за умов 75 % вологості

Аналіз ІЧ-спектрів, що наведені на рис. 2, дозволяє зробити такі висновки:  
– деградація покриття починається з міграції ПЕ та ПФА на поверхню покриття з наступним вимиванням цих компонентів, співполімер у свою чергу розкладається на мономери;

– додавання нанодисперсних речовин у склад інтумесцентних систем запобігає суттєвій зміні хімічного складу зразків в умовах гідротермального старіння, для зразка з нанодисперсним оксидом титану зміни хімічного складу наступають після 1 року старіння.

При збільшенні показника вологості до 95 % зміни хімічного складу для зразків ІС-2 та ІС-3 наступають після 2 років старіння.

Таким чином, в результаті проведених досліджень було показано, що добавки нанодисперсного оксиду титану та органоглини в класичну інтумесцентну композицію поліфосфат амонію/пентаеритрит/меламін/співполімер ЕВА підвищують її вогнезахисну ефективність та стійкість до впливу атмосферних агресивних чинників. Знайдено, що руйнування покриття за умов гідротермального старіння розпочинається з вимивання пентаеритриту та поліфосфату амонію. Присутність нанодисперсних сполук значно уповільнює цей процес. Встановлено, що інтумесцентна композиція з додаванням органоглини має більш високу вогнезахисну ефективність. Цей підхід може бути використаним при удосконаленні рецептур інтумесцентних матеріалів з підвищеними вогнезахисними та експлуатаційними характеристиками.

### Література

1. Ненахов, С.А., Пименова В.П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19, № 8. – С.11 – 58.
2. Вахітова Л.М., Калафат К.В. Лапушкін М.П. Вогнезахисна ефективність інтумесцентних систем. Сумісна дія карбонізуючої сполуки та донора кислоти // Хім. пром-сть України. – 2007. – № 5. – С. 41 – 46.
3. Soares V.L.P., Nascimento R.S.V., Albinante S.R. Ester-additives as inhibitors of the gelification of soybean oil methyl esters in biodiesel // J. Therm. Anal. Calorim. – 2009. – Vol. 97, № 2. – P. 621– 626. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-009-0079-3>
4. Fire Retardancy of Polymers New Applications of Mineral Filler / Edit. by M. Le Bras, Ch. A. Wilkie, S. Bourbigot, S. Duquesne, Ch. Jama. – Cambridge: The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, 2005. – 664 p.
5. Андронов В.А., Данченко Ю.М., Бухман О.М. Подходы к определению сроков службы огнезащитных полимерных покрытий // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 31. – С.10 – 18.
6. Ямщикова С.А. Повышение огнезащитной способности вспучивающихся покрытий для объектов нефтегазовой отрасли // Автореф. дис. канд. тех. наук / ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». – Уфа, 2009.
7. Гайковая О.Н. Определение срока службы огнезащитных покрытий // Строительство и техногенная безопасность: сб. науч. тр. НАПКС. – Симферополь: НАПКС, 2008. – Вып. 24–25. – С. 36 – 40
8. Вахітова Л.Н., Таран Н.А., Лапушкін М.П. [и др.]. Твердофазный аминолиз в системе полифосфат амонія–пентаеритрит–амин // Теор. и эксперим. химия.  $\frac{3}{4}$  2012.  $\frac{3}{4}$  №3.  $\frac{3}{4}$  С.163-167
9. Вахітова Л.Н., Таран Н.А., Лапушкін М.П. [и др.]. Органомодифицированный монтмориллонит. Компонент огнезащитных интумесцентных систем // Хім. пром-сть України. – 2014. – №1. – С. 57 – 62.
10. ETAG 18-2 Fire protective products Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements / Edition June 2006. – Brussels.: EOTA, 2006. – 35 p.

Стаття надійшла до редакції 03.06.15



**Л. Н. Вахитова<sup>1</sup>, Н. А. Таран<sup>2</sup>, В. Л. Дрижд<sup>2</sup>, С. П. Придятько<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт органической химии НАН Украины

ул. Мурманская, 5, г. Киев, 02660, Украина, e-mail: lu5005@mail.ru

<sup>2</sup>Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко

НАН Украины, ул. Харьковское шоссе, 50, г. Киев-160, 02160, Украина,

e-mail: taran5005@mail.ru

<sup>3</sup>Красноармейский индустриальный институт ГВУЗ «ДонНТУ»

пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, 85300, Украина, e-mail: kii\_giop@ukr.net

## **ОГНЕЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРЫТИЯ С ДОБАВКАМИ НАНОСОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СТАРЕНИЯ**

Показано, что добавки наноразмерных соединений в огнезащитную интумесцентную композицию повышают ее огнезащитную эффективность и устойчивость к воздействию агрессивных атмосферных факторов. Установлено, что разрушение покрытия в условиях гидротермального старения начинается с вымывания пентаэритрита и полифосфата аммония. Присутствие органоглины и наноксида титана значительно замедляет этот процесс. Установлено, что интумесцентная композиция с добавлением цетилтри-метиламмоний-монтмориллонита имеет более высокую огнезащитную эффективность.

**Ключевые слова:** огнезащитная эффективность, антипирен, органо-глина, наноксид титана, сополимер этилена и винилацетата, метод гидро-термального старения.

**L. N. Vakhitova<sup>1</sup>, N. A. Taran<sup>2</sup>, V. L. Drizhd<sup>2</sup>, S. P. Prydatko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Organic Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine

Murmanskaya St., 5, Kyiv, 02660, Ukraine

<sup>2</sup>The L.M. Litvinenko Institute of Physical Organic and Coal Chemistry of National

Academy of Sciences of Ukraine

Kharkiv highway St., 50, Kyiv, 02160, Ukraine.

<sup>3</sup>Krasnoarmiysk industrial institut State Higher Educational Institution

“Donetsk National Technical University”

## **FIRE-RETARDANT EFFICIENCY OF INTUMESCENT COATING IN THE PRESENCE OF NANO-SIZED COMPOUNDS UNDER HYDROTHERMAL AGEING**

The effects of the additives of nano-sized organoclay and titanium oxide on performance of intumescent system were studied. It is shown that the additives of nano-sized compounds in fire-retardant intumescent composition increase its fire-protective efficiency and resistance to aggressive atmospheric factors. It was also found, that the disruption of the coating under hydrothermal ageing begins with elution of pentaerythritol and ammonium polyphosphate. The presence of organoclay and titanium nano-oxide significantly retards the process of decomposition. It was determined that the fire-resistance efficiency of intumescent composition with cetyltrimethylammonium-montmorillonite additives is the highest among the tested systems.

**Key words:** fire-resistance efficiency, fire retardant, organoclay, titanium nanooxide, ethylene and vinylacetate copolymer, hydrothermal ageing method.

## REFERENCES

1. Nenakhov S.A., Pimenova V.P. Physico-Chemical Foaming Fire-Retardant Coatings Based on Ammonium Polyphosphate (Review of the Literature) // *Fire & Explosion safety*. – 2010. – Vol.19. – P. 11-58.
2. Vakhitova L.M., Kalafat K.V., Lapushkin M.P. Fire-resistant effectivity of the intumescent systems. Joint effect of carbonizing agent and acid donor // *Khimichna promyslovist' Ukrainy*. – 2007. – Vol.5. – P. 41-46.
3. Soares V.L.P., Nascimento R.S.V., Albinante S.R. Ester-additives as inhibitors of the gelification of soybean oil methyl esters in biodiesel // *J. Therm. Anal. Calorim.* – 2009. – Vol. 97, № 2. – P. 621– 626. 626. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-009-0079-3>
4. Le Bras M., Wilkie C.A., Bourbigot S., Duquesne S., Jama C. Fire Retardancy of Polymers New Applications of Mineral Filler. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, 2005. – 664p.
5. Andronov V.A., Danchenko J.M., Buchman O.M. Methods to determine durability of fire-resistant polymeric coatings // *Problems of fire safety*. – 2012. – Vol. 31. – P. 10-18.
6. **Yamschikova S.A. Povyshenie ognезaschitnoy sposobnosti vspuchivayuschichsya pokritiy dlya objectov neftegazovoy otrasly.** Diss. cand. tech. nauk. [Enhancing fire-resistant performance of intumescent coatings applied on the objects of oil and gas industry. Cand. tech. sci. Diss.]. Ufa, 2009. 170p.
7. Gaikovskaya O.N. Determination of the durability of fire-resistant coatings // *Constructions and technogenic safety*. – 2008. – Vol. 24–25. – P. 36-40.
8. **Vakhitova L.N., Taran N.A., Lapushkin M.P., Drizhd V.L., Lakhtarenko N.V. and Popov A.F. Solid-phase aminolysis in the ammonium polyphosphate-pentaerythritol-amine system** // *Theoretical and Experimental Chemistry*. – 2012. – Vol.48. №3 – P. 176-181.
9. **Vakhitova L.N., Taran N.A., Lapushkin M.P., Rybak V.V., Drizhd V.L., Popov A.F. Organo-modified montmorillonite as a component of the intumescent flame-retardant system** // *Khimichna promyslovist' Ukrainy*. – 2014. – Vol.1. – P. 57-62.
10. *ETAG 18-2 Fire protective products Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements* / Edition June 2006. – Brussels.: EOTA, 2006. – 35 p.