

припадає 22,3 пожежі, у селищі міського типу – 16,6, у селі – 18,3, також у селі спостерігається закономірність найдовшого часу прибуття на місце пожежі, а це в свою чергу призводить до тривалого часу ліквідації пожежі та великих матеріальних збитків. Встановлено, що час локалізації, ліквідації і особливо сумарний час роботи на місці пожежі залежать від часу прибуття на місце пожежі, а також встановлено тісний кореляційний зв'язок між прямими збитками та повним часом ліквідації пожежі.

Необхідно аналізувати статистичну інформацію про надзвичайні ситуації для створення математичних моделей діяльності підрозділів рятувальних служб, що дасть змогу обґрунтувати заходи підвищення ефективності їхньої роботи.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Климась Р, Скоробагатько Т. Стан із пожежами та наслідками від них в Україні за 2006 рік // Пожежна безпека, №2(89), 2007.- С. 30-32.
2. Брушлинский Н.Н., Кафидов В.В., Козлачков В.И. и др. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства./; Под ред. Н.Н. Брушлинского. - М.: Стройиздат, 1988.- 413 с.
3. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. под ред. Ю.А.Кошмарова, В.Е. Макарова.-М.: Стройиздат, 1990.- 424с.
4. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987.- 288 с.
5. Гуліда Е.М., Войтович Д.П. Аналіз основних чинників, які впливають на функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міст в процесі ліквідації пожеж // Пожежна безпека, №10, 2007. – С.162-169.

УДК 614.842

Ю.В. Цапко, к.т.н., с.н.с. (Інститут Державного управління в сфері цивільного захисту УЦЗУ МНС України)

#### УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ВОГНЕЗАХИСНИХ ЗАСОБІВ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Наведено результати досліджень з визначення ефективності вогнезахисту зразків целюлозовмісних матеріалів просочувальною композицією

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими матеріалами для оброблення приміщень традиційно залишаються вироби з деревини, тканина, папір, але у зв'язку з їх підвищеною горючістю вони відносяться до пожежонебезпечних матеріалів. За будівельними нормами і правилами залежно від функціонального призначення приміщень допускається застосування матеріалів з такими показниками, як Г1 або Г2, В1 або В2, РП1 або РП2, Д2 та Т2 [1]. Це вказує на те, що целюлозовмісні матеріали необхідно довести до необхідного стану пожежної небезпеки.

Оброблення засобами вогнезахисту виключає можливість загоряння целюлозних матеріалів, обмежує поширення полум'я, знижує димоутворювальну здатність, тепловиділення [2].

Хімічний вогнезахист целюлозовмісних матеріалів полягає у введенні до них сповільнювачів горіння (антипіренів) – речовин, що, впливаючи на кінетику піролізу целюлози, зменшують швидкість утворення горючих летких продуктів (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO та ін.),

інгібують газофазові реакції в полум'ї та виключають безполуменеве горіння карбонізованого залишку. Для зниження горючості таких матеріалів, як деревина, що містить у структурі гідроксильні групи, найбільш ефективними є фосфоровмісні сповільнювачі горіння [3-9]. Присутність таких сповільнювачів горіння зменшує виділення летких горючих речовин і змінює механізм утворення карбонізованого залишку.

Для комплексного захисту целюлозних матеріалів від загоряння і біологічного руйнування застосовується невелика кількість препаратів, зокрема суміш амонію сульфату, діамонійфосфату і натрію фтористого, або натрію ортоборату і борної кислоти, і суміш натрію карбонату і борної кислоти, які не повною мірою забезпечують вогнезахисну ефективність [2].

На сьогоднішній день з'явилися ефективні просочувальні суміші для деревини, зокрема композиція з антипірена (амонію фосфати і сульфат) і антисептика полімерного походження (полігексаметиленгуанідинфосфат ("Гембар")) – ДСА-1 та ДСА-2 [2]. У випадку застосування ДСА на поверхні деревини утвориться полімерна плівка, що перешкоджає виходу антипірену з деревини на поверхню та запобігає вільному доступу кисню повітря під час підвищення температури, змінюючи механізм піролізу целюлози на термодеструкцію і сповільнюючи процес горіння [10].

На основі такого комплексного захисту деревини від загоряння і біологічного руйнування, з урахуванням синергічної дії антипірена та антисептика, поставлено задачу створення суміші просочувальної для вогне- та біозахисту деревини та виробів з неї шляхом використання в якості антипірену водного розчину діамонійфосфату, сульфату амонію і змочувача, а в якості антисептика – водний розчин комплексної сполуки полігексаметиленгуанідин поліфосфат амонію, що забезпечує підвищення ефективності вогнезахисту та біозахисту деревини.

Оскільки ефективність антипіренів для целюлозних матеріалів визначається рівнем їх вогнезахисної здатності й обумовлюється насамперед розкладанням антипіренів під дією температури з поглинанням тепла і виділенням негорючих газів, гальмуванням процесу окислювання в газовій і конденсованій фазі, а також зміною напрямку реакцій у передполуменевій області у бік утворення сажеподібних продуктів на поверхні целюлозовмісних матеріалів.

З цією метою необхідно було дослідити механізм дії та вогнезахисну ефективність нової просочувальної комплексної сполуки полігексаметиленгуанідин поліфосфату амонію для целюлозовмісних матеріалів (деревини, тканин, паперу).

Для оцінювання механізму вогнезахисної дії просочувальних засобів проведено дослідження термодеструкції деревини, що була оброблена сумішшю антипіренів (20 % діамонійфосфату, 10 % сульфату амонію) та з послідовним обробленням полімерним антисептиком "Гембар", що входять до вогнезахисного засобу ДСА-2, а також обробленням вищенаведеними антипіренами і полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію та визначено вплив вогнезахисного оброблення просочувальними засобами на процес утворення горючих газів під час піролізу деревини.

В роботах [2, 10] було встановлено, що при термодеструкції деревини інтенсивне газовиділення починалось за температури 210-220 °С, за участі екзотермічних процесів температура зразка швидко зростала до 350-420 °С. Основна кількість (понад 90%) продуктів піролізу надходила в газозбірник в діапазоні 210-340 °С, у якому, деструкція відбувається за механізмом відщеплення летких продуктів, коли іде інтенсивний процес піролізу зі значним газовиділенням та стрибком температури. Друга повільніша стадія (за більш високих температур (> 420°C) зумовлена здебільшого розкладом карбонізованого залишку і характеризується більшим екзотермічним ефектом. Для оброблених зразків за тих же умов відмічається, що процес термодеструкції проходить плавно, газовиділення починається на більш ранній стадії (160–180°C), приріст температури проходить поступово по мірі прогрівання печі.

Для одержання газоподібних продуктів термічної деструкції використане спеціальне обладнання [2, 10]. За наведеною методикою були проведені дослідження та зібрані леткі продукти піролізу та проведено їх хроматографічний аналіз (табл. 1).

Таблиця 1

*Якісний і кількісний склад газоподібних продуктів термічної деструкції соснової деревини та обробленої вогнезахисними сумішами.*

Компонент	Вміст компонентів у летких продуктах деструкції, % об.		
	соснової деревини	соснової деревини, обробленої сумішшю ДСА-2	соснової деревини, обробленої сумішшю фосфатів і сульфату амонію та полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію
CO	39,08	12,84	10,76
CO <sub>2</sub>	51,93	не виявлено	не виявлено
CH <sub>4</sub>	6,05	сліди	сліди
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,45	не виявлено	не виявлено
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,19	не виявлено	не виявлено
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0,32	не виявлено	не виявлено
H <sub>2</sub>	0,73	0,11	0,02
O <sub>2</sub>	0,26	не виявлено	не виявлено
N <sub>2</sub>	0,99	85,04	89,22

Як видно з таблиці, після піролізу необробленої та обробленої вогнезахисними засобами деревини суміші продуктів деструкції суттєво відрізняються за вмістом азоту та кількістю горючих газів. Найменша кількість горючих газів виділяється з деревини після обробки сумішшю на основі фосфатів і сульфату амонію та полігексаметиленгуанідин поліфосфату амонію.

У результаті впливу теплового потоку на оброблену антипіренами деревину виділяються у великій кількості негорючі гази – азот, пари води, що знижують температуру на поверхні матеріалу, перешкоджаючи його загорянню та сприяють утворенню теплоізолюючого вугільного шару. Окрім того полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію характеризується більш зниженою розчинністю й полімерною будовою, що спричиняється більше високим вмістом у його складі фосфору й азоту.

Проведеними дослідженнями [11-13] встановлено ефективні умови захисту тканин і паперу від загорання і біологічного руйнування із застосуванням просочувальної композиції ФСГ-1 (полігексаметиленгуанідин фосфат сечовини), але недоліком цієї композиції є утворення на поверхні окремих матеріалів маслянистої плівки. В зв'язку з цим були проведені дослідження щодо можливості застосування полігексаметиленгуанідин поліфосфату амонію для вогнезахисту тканин та паперу.

Для визначення вогнезахисної дії просочувальної композиції на основі полігексаметиленгуанідин поліфосфат амонію для тканин та паперу проведено термодеструкцію оброблених зразків бавовняної, віскозної тканини та паперу. У процесі дослідження були зібрані леткі продукти термодеструкції та проведено їх газохроматографічний аналіз (табл. 2).

Як і для деревини при піролізу необроблених зразків тканин і паперу характерною є стадія, коли іде інтенсивний процес піролізу зі значним газовиділенням та стрибком температури та стадія що зумовлена розкладом карбонізованого залишку.

Як видно з таблиці 2, під час піролізу бавовняної, віскозної тканини та паперу, що оброблені просочувальною композицією, леткі суміші продуктів піролізу суттєво відрізняються за вмістом азоту, діоксиду вуглецю та кількістю горючих газів. Після оброблення матеріалів просочувальними композиціями в продуктах піролізу значно зменшується кількість водню та метану, зменшується кількість оксиду вуглецю, але

збільшується кількість діоксиду вуглецю (для комплексної сполуки полігексаметиленгуанідин фосфат сечовини) та азоту, особливо для зразків оброблених комплексною сполукою полігексаметиленгуанідин поліфосфат амонію.

Таблиця 2

Результати газохроматографічного аналізу продуктів термодеструкції матеріалів

Матеріал	Вміст компонентів (% об.) в летких продуктах деструкції матеріалів									
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>
Папір:										
– необроблений	7,33	0,52	0,20	0,10	0,20	34,00	0,84	4,90	47,26	4,85
– оброблений полігекса-метиленгуанідин фосфатом сечовини	0,19	1,07	0,26	0,04	0,19	70,00	0,24	26,84	1,01	0,16
оброблений полігекса-метиленгуанідинполіфосфатом амонію	0,20	0,90	0,16	сліди	0,02	8,2	-	86,30	4,1	0,05
Бавовняна тканина:										
– необроблена	10,36	0,12	0,06	-	-	40,00	0,60	1,97	39,30	7,59
– оброблена полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини	0,7	-	сліди	-	-	67,00	0,17	30,88	1,61	0,27
– оброблена полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію	0,5	-	-	-	-	6,6	-	90,9	1,8	сліди
Віскозна тканина:										
– необроблена	6,24	0,76	0,13	0,08	0,06	32,50	0,56	1,77	52,54	5,33
– оброблена полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини	0,5	0,78	0,30	сліди	сліди	49,10	0,40	48,35	0,31	0,22
– оброблена полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію	0,5	0,46	0,29	-	-	5,4	0,20	92,7	0,20	0,05

Для визначення ефективності вогнезахисту деревини з застосування розроблювальної суміші на основі фосфатів і сульфату амонію та полігексаметиленгуанідин поліфосфату амонію проведено випробування згідно з ГОСТ 16363 [14]. Антипірени вводили в деревину поверхневим обробленням та з послідуєчим нанесенням антисептика. Витрата композиції, в перерахунку на безводну частину, становила (0,36 – 0,38) кг·м<sup>2</sup> за умови її поверхневого нанесення з середньою витратою робочого розчину антипірену 555,6 г/м<sup>2</sup> (в перерахунку на сухі речовини – 166,7 г/м<sup>2</sup>) і робочого розчину антисептика відповідно 200 г/м<sup>2</sup> (в перерахунку на суху речовину 4,0 г/м<sup>2</sup>). Результати випробувань згідно з ГОСТ 16363 наведено у таблиці 3.

Результати табл. 3, засвідчують, що зразки деревини після оброблення сумішшю на основі фосфатів і сульфату амонію та полігексаметиленгуанідин поліфосфату амонію за ефективністю вогнезахисту відносяться до матеріалів першої групи ефективності згідно з ГОСТ 16363 (важкогорючі матеріали).

Дослідження ефективності вогнезахисту текстильних матеріалів та паперу, оброблених розробленою просочувальною композицією на основі комплексної сполуки полігексаметиленгуанідин поліфосфату амонію здійснювались відповідно до вимог ДСТУ 4155 [15].

В роботах [2, 12, 13] було встановлено, що після дії пальника на необроблені зразки

тканин та паперу, за короткий проміжок часу відбувалось повне згоряння матеріалів, які досліджувались.

Таблиця 3

Результати випробувань вогнезахисної деревини згідно з ГОСТ 16363-98 [14].

№ зразка для випробувань	Маса зразка, г				Поглинання маси суміші (повітряно-сухий стан), г	Втрата маси зразка після випробувань $\Delta m, \%$
	До просочення $m_0$	Після просочення антипіреном (повітряно-сухий стан) $m$	Після нанесення антисептика (повітряно-сухий стан) $m_1$	Після випробувань $m_2$		
<b>Зразки оброблені сумішшю ДСА-2</b>						
1	157,8	172,2	172,7	162,0	14,9	6,2
2	150,8	163,3	163,9	152,7	13,1	6,8
<b>Зразки оброблені сумішшю на основі фосфатів і сульфату амонію та полігексаметиленгуанідин поліфосфату амонію</b>						
1	145,0	148,6	150,1	140,6	5,1	7,3
2	145,2	148,8	150,5	139,9	5,3	7,0
3	140,7	144,1	146,5	135,8	5,8	6,3
4	147,1	157,1	158,8	149,9	11,7	5,6
5	145,5	155,8	157,1	148,1	11,6	5,7

Таблиця 4

Результати визначення тривалості залишкового полуменевого горіння тканин і паперу згідно з ДСТУ 4155 [15]

Досліджувані матеріали	Тривалість залишкового полуменевого горіння, с.	
	випробування з поверхні	випробування з краю
<b>Бавовняна тканина (вміст бавовни 100%):</b>		
– необроблена	45,6	38,2
– оброблена полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини	відсутнє	
– оброблена полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію	відсутнє	
<b>Віскозна тканина (вміст віскози 100%):</b>		
– необроблена	35,6	28,2
– оброблена полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини	відсутнє	
– оброблена полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію	відсутнє	
<b>Лляна тканина (вміст льону 100%):</b>		
– необроблена	204	172
– оброблена полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини	відсутнє	
– оброблена полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію	відсутнє	
<b>Бавовняно-поліефірна тканина (вміст бавовни та поліефіру 50:50%):</b>		
– необроблена	144,8	89,6
– оброблена полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини	3,8	відсутнє
– оброблена полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію	відсутнє	
<b>Поліефірна тканина (вміст поліефіру 100%):</b>		
– необроблена	39,6	27,2
– оброблена полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини	4,35	відсутнє
– оброблена полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію	відсутнє	
<b>Папір пакувальний:</b>		
– необроблений	51,8	49,8
– оброблений полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини	відсутнє	
– оброблений полігексаметиленгуанідин поліфосфатом амонію	відсутнє	

Результати досліджень (табл. 4) зразків тканин і паперу, оброблених розробленою просочувальною композицією показали відсутність залишкового полуменевого горіння, прогорання матеріалу та поширення поверхневого спалаху всіх тканин та паперу, натомість для зразків тканин синтетичного походження та їх сумішей з природними оброблених полігексаметиленгуанідин фосфатом сечовини зафіксовано залишкове полуменеве горіння в межах, встановлених [15].

Згідно з [15] зразки тканин і паперу, оброблені просочувальною композицією класифікуються як важкозаймистий матеріал за витрат розробленої просочувальної композиції (для віскозної тканини поглинання просочувальної композиції становить 175 г/м<sup>2</sup>, для бавовняної тканини - 170 г/м<sup>2</sup>, для паперу - 180 г/м<sup>2</sup>, для бавовняно-поліефірної тканини (вміст поліефіру та бавовни 50 % : 50 %) - 180 г/м<sup>2</sup>, для поліефірної тканини - 200 г/м<sup>2</sup>, для лляної тканини - 925 г/м<sup>2</sup>).

Таким чином, завдяки використанню нового підходу до вогнебіозахисту, що полягає в синергічному з'єднанні сольових антипіренів з полімерним антисептиком, розроблено просочувальний вогнезахисний склад для деревини ДСА-Плюс, який є ефективними вогнебіозахисним засобом, а оброблення тканин і паперу комплексною сполукою полігексаметиленгуанідин поліфосфат амонію призводить до більш ефективного захисту матеріалів від загорання.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДБН В.1.1-7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Київ: Держбуд України, 2003.
2. Жартовский В.М., Цапко Ю.В. Профилактика горения целлюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика. Київ: УкрНДШБ МНС України, 2006. - 256 с.
3. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. - М.: Стройиздат, 1991.- 320с.
4. Леонович А.А. Химический подход к проблеме снижения пожароопасности древесных материалов // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Вып. 3. - М.: ВНИИПО, 1996. - с. 10-14.
5. Тичино Н.А. Особенности практического применения огне- и биозащитных средств для пропитки древесины // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Вып. 6. - М.: ВНИИПО, 2002. - с.38-43.
6. Скрипченко Т.Н., Домбург Г.Э. Сравнительная оценка огнезащитного действия фосфор- и бор содержащих соединений на сульфатной целлюлозе // Теоретические аспекты модифицирования древесины: Тезисы докладов Всесоюзной конференции. - Рига, 1983.
7. Лулева Н.А., Петушок И.А., Воробьев В.К., Дмитриченко А.С. Изучение действия фосфор-азотсодержащих антипиренов на процесс термоокислительного разложения и горения целлюлозосодержащих материалов // Пожарная безопасность: Материалы II Международной научно-практической конференции. - Минск: РНПЦ ПБ МВД Беларуси, 1997. - С. 116-117.
8. Лулева Н.К., Опутина А.Г., Трофимова И.В., Ермоленко И.Н., Тичино Н.А., Воробьев В.К. Создание огнезащитных целлюлозных материалов взаимодействием целлюлозы и полифосфорных кислот // Совершенствование огнезащиты древесины и целлюлозных материалов: Тезисы докладов 2-ой научно-технической конференции. - Киев, 1987. - С. 22-23.
9. Продан Е.А., Продан Л.И., Ермоленко Н.Ф. Триполифосфаты и их применение. - Минск. Наука и техника, 1969. - С. 27-29.
10. Жартовський В., Бут В., Цапко Ю., Барило О. Дослідження механізму вогнезахисної ефективності деревини просочувальними композиціями // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. Вып.55 (Технические науки и архитектура). - К.: Техніка, 2004. - С. 219-229.
11. Жартовський В.М., Цапко Ю.В., Барило О.Г. Дослідження вогнебіозахисту тканин та паперу // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. Вып. 63 (Технические науки и архитектура). - К.: Техніка, 2005. - С. 339-343.

12. Барило О.Г., Цапко Ю.В., Жартовский В.М. Експериментальні дослідження вогнебіозахисної ефективності композиції для текстильних матеріалів та паперу // Науковий вісник УкрНДІПБ. К.: УкрНДІПБ, 2006. - №1 (13). - С. 42-48.
13. Барило О.Г. Вогнебіозахист тканин і паперу просочувальною композицією // Автореферат дис... канд. техн. наук: 21.06.02/ УкрНДІПБ МНС України. – К., 2005. – 22 с.
14. ГОСТ 16363-98 Межгосударственный стандарт. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств. – Киев: Изд-во стандартов, 2000.
15. ДСТУ 4155 Матеріали текстильні. Метод випробування на займистість. – Київ: Держспоживстандарт України, 2003.

УДК 624.074; 666.094.15

*М.М.Гивлюд, д.т.н., професор, Ю.В.Гуцуляк, к.т.н., доцент, Ю.Є.Шелюх, к.т.н., В.В.Артеменко (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), І.В.Ємченко (Львівська комерційна академія)*

### **ВОГНЕСТІЙКІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ НАПОВНЕНИХ СИЛІЦІЙЕЛЕМЕНТОРГАНІЧНИХ ЗВ'ЯЗОК**

Вивчено вплив будови зв'язки і наповнювача на вогнестійкість високотемпературних захисних покриттів для конструкційних матеріалів. Встановлено, зміну фазового складу і структури покриття в процесі нагрівання і визначені його захисні властивості. Показана можливість збільшення довговічності матеріалів, які працюють при нагріванні понад 600 °С.

У зв'язку із розширенням температурного інтервалу експлуатації і покращення вогнестійкості конструкційних матеріалів і виробів виникає гостра проблема створення нових видів покриттів з прогнозованою захисною дією в широкому інтервалі температур.

Для одержання високотемпературних захисних покриттів з необхідними експлуатаційними властивостями можна використати метод направленої модифікації силіційорганічних сполук оксидами і силікатами [1-3]. Суттєва перевага таких матеріалів, у даному випадку, полягає у формуванні на поверхні виробу плівки із суміші оксидів та силікатів, які характеризуються високою корозійною стійкістю при високих температурах і вогнестійкістю [4-6].

В даній роботі подані результати досліджень процесів взаємодії алюмінію оксиду і аеросилу з карборансилоксаном, склад і властивості одержаних вогнестійких захисних покриттів.

Значну частину комплексу цінних захисних властивостей покриттям надає карборансилоксанова зв'язка за рахунок фазових та структурних змін при нагріванні.

Карборансилоксанова смола – складний силіційементоорганічний полімер, в складі якого міститься до 7 мас.% бору. Карборансилоксановий лак являє собою 40 – 50% розчин карборансилоксанової смоли К – 2104 у ацетоні.

Рентгенофазовим аналізом встановлено, що основою кристалічною складовою при нагріванні карборансилоксану до 1200 °С є β-кварц ( $d/n = 0,425; 0,334$  нм). Наявність великого гало в інтервалі 12 – 34 градусів вказує на велику дисперсність і слабу окристалізованість одержаного в результаті деструкції силіцію діоксиду.

При нагріванні карборансилоксану вище від 400 °С його колір змінювався в такій послідовності: жовтий → чорний → сіро-білий. Чорний колір карборансилоксану при