

2005. 120 с.

2. Субботін А. Ігор теорія. Політична енциклопедія. К.: Парламентське видавництво, 2011. 273 с.

3. Бартіш М.Я., Дудзяний І.М. Дослідження операцій. Ч. 3. Ухвалення рішень і теорія ігор. Львів: Видавничий центр Львівського національного університету ім. І.Франка, 2009. 277 с.

Лисак Н.М., аспірант, викладач кафедри спеціальної хімії та хімічної технології, Національний університет цивільного захисту України;

Скородумова О.Б., доктор технічних наук, професор, професор кафедри спеціальної хімії та хімічної технології, Національний університет цивільного захисту України;

Чернуха А.А., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри пожежної та рятувальної підготовки, Національний університет цивільного захисту України, полковник служби цивільного захисту

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ЗОЛІВ КРЕМНЕЗЕМУ ДЛЯ ВОГНЕЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Одним із пріоритетних завдань сучасної будівельної галузі є підвищення рівня енергоефективності об'єктів, що дозволяє знизити енергоспоживання та експлуатаційні витрати. Для досягнення цієї мети досить активно застосовуються матеріали з високими теплоізоляційними характеристиками. На особливу увагу заслуговує деревина, що належить до традиційних будівельних матеріалів природного походження та поєднує в собі високу міцність, відновлюваність та екологічну привабливість. Поширеним утеплювачем також є екструдований пінополістирол (XPS), що також набув широкого попиту завдяки своїй легкій вазі та доступній вартості. Проте незважаючи на низку переваг, обидва матеріали мають суттєвий недолік – високий рівень горючості.

На сучасному українському ринку вогнезахисних матеріалів представлено широкий асортимент засобів для вогнезахисту деревини, серед яких найбільш попит мають «Ендотерм», «ЕКОСЕРТ», «ДСА-1», «ДСА-2», «DEFENS W» тощо. Виробники пропонують рішення як для внутрішніх, так і для зовнішніх робіт, що відповідають чиним стандартам пожежної безпеки. Але одним із недоліків практично всіх зазначених вогнезахисних засобів є реалізація переважно великих об'ємів, що обмежує доступність таких засобів для приватних споживачів та виконання локальних робіт невеликого обсягу. З іншого боку, аналіз ринку вогнезахисних матеріалів свідчить про практичну відсутність засобів, призначених для обробки пінополістиролу. Очевидно, причиною цього є введення антипіренів до складу матеріалу на етапі його виробництва. Нині одним із найпоширеніших варіантів є бромований сополімер бутадієн-стиролу, відомий під комерційною назвою B264YZ або GreenCrest, що

за ефективністю не поступається забороненому до використання HBCD [1]. Але заявлена виробниками екологічна доступність B264YZ спростовується, згідно з результатами деяких досліджень [2]. Недооціненою також залишається проблема поступового вивільнення вогнезахисних компонентів із полімерної структури пінопласту, що з часом призводить до підвищення групи його горючості. Тому особливої актуальності набуває розробка універсальних вогнезахисних складів, придатних для вогнезахисту як природних, так і синтетичних полімерних матеріалів, простих у використанні, екологічно привабливих та економічно доступних.

Останнім часом все більшої перспективності в галузі вогнезахисту набувають кремнеземвмісні речовини, які здатні забезпечити утворення термостійкого захисного шару на поверхні матеріалу, що значно уповільнює процеси горіння. Силікатні склади часто комбінують зі сполуками фосфору з метою утворення термічно стійких зв'язків Si-O-P та підвищення ефективності захисту.

Метою роботи був аналіз вогнезахисних властивостей покриттів на основі золів кремнієвої кислоти, модифікованих фосфоровмісними добавками, на поверхні деревини та екструдованого пінополістиролу.

Золі кремнекислоти, отримані змішування розчинів натрієвого рідкого скла та ацетатної кислоти, модифікували розчинами ортофосфатної кислоти (1–8 мас. %), натрій гексаметафосфату (0,1–0,5 мас.%) та фосфатними буферними розчинами (15–25 об.%; pH 6–8).

Реологічні властивості золів досліджували шляхом визначення зміни оптичної густини в часі за допомогою фотоколориметра КФК-2 (довжина хвилі 490 нм, розчин порівняння – дистильована вода). Для сирих та термооброблених гелів здійснювали реєстрацію інфрачервоних спектрів на спектрометрі FTIR-8400S (Shimadzu), що споряджений приставкою QATR 10 (Shimadzu) в діапазоні $400\text{--}4000\text{см}^{-1}$. Процеси, що відбуваються в гелях під час нагрівання, досліджували методом диференційно-термічного аналізу на дериватографі Q-1500D в атмосфері повітря (температурний діапазон $20\text{--}600^\circ\text{C}$, швидкість нагрівання 10°C/хв).

Модифіковані золі кремнекислоти наносили на поверхню експериментальних зразків деревини та екструдованого пінополістиролу методом занурення. Перед обробкою зразки деревини висушували в сушильній шафі при температурі 100°C до досягнення сталої маси. Нанесення кожного наступного шару покриття здійснювали після висушування попереднього шляхом термоудару при 80°C ; загалом наносили 2–3 шари. Додатково після висушування на поверхню зразків розпилювали 20%-й водний розчин діамоній гідрофосфату, після чого їх повторно висушували.

Оцінювання вогнезахисної ефективності покриттів на поверхні деревини проводили відповідно до вимог ДСТУ 4479:2005 [3], а визначення групи горючості здійснювали згідно з ДСТУ 8829:2019 [4]. Вогневі випробування зразків екструдованого пінополістиролу виконували на лабораторній установці,

що складалася із захисного екрана, пальника та газового балона з редуктором. Газ подавався під тиском 0,2 МПа, а час дії вогню становив 10 с. Після проведення випробувань визначали відсоткову втрату маси зразків.

Для композицій, модифікованих розчинами ортофосфатної кислоти, було виявлено два різні механізми поліконденсації, залежно від концентрації добавки. При низькому вмісті H_3PO_4 (1–2 %) процес полімеризації відбувався за лінійним механізмом, що було підтверджено інфрачервоною спектроскопією, текучість композицій зберігалася в межах 45–70 хв. Зі збільшенням концентрації H_3PO_4 до 4–8 % характер поліконденсації змінювався на сітчастий, що було підтверджено термографічними дослідженнями, живучість золів суттєво зростала (до 24 год). Водночас для золів, модифікованих натрій гексаметафосфатом, незалежно від кількості добавки, живучість становила близько 30 хв. Композиції на основі фосфатних буферних розчинів демонстрували втрату текучості через 2 години, що є оптимальним для рівномірного нанесення золю та утворення однорідного покриття.

Комбіноване застосування диференціально-термічного аналізу та інфрачервоної спектроскопії дозволило встановити, що введення ортофосфатної кислоти сприяє формуванню сітчастої будови силоксанового каркасу. Такі структури характеризуються поступовим термічним розпадом і незначним приростом втрати маси, що забезпечує збереження цілісності сформованого покриття. Однак результати вогневих випробувань не показали відтворюваного позитивного ефекту для композицій із додаванням ортофосфатної кислоти, тому подальші дослідження були спрямовані на аналіз впливу фосфатів лужних металів. Результати інфрачервоної спектроскопії підтвердили, що фосфат-іони вбудовуються у силоксанову сітку, сприяючи підвищенню вогнестійкості покриття.

Результати вогневих випробувань показали, що всі досліджені силікофосфатні композиції ефективно усувають основний недолік горіння пінополістиролу – утворення палаючих крапель. Найкращі вогнезахисні характеристики продемонстрували покриття на основі кремнезему та фосфатних буферних розчинів з об'ємним вмістом 20–25 % і нейтральним середовищем (рН 7). Для цих композицій було визначено I групу вогнезахисної ефективності: оброблені ними дерев'яні зразки вдалося перевести до категорії «важкогорючих» матеріалів. Зразки XPS, оброблені золями заданого складу, не горіли, а втрата маси після вогневих випробувань становила близько 1 %. Використання фосфатних буферних систем у складі вогнезахисних композицій виявилось більш доцільним і перспективним. Застосування таких добавок дозволило подовжити живучість золів, а також забезпечило здатність покриття розплавлятися при високих температурах, завдяки чому воно адаптувалося до змін форми пінополістиролу в процесі усадки, не втрачаючи захисних властивостей і сприяючи підвищенню загальної вогнестійкості матеріалу. У межах дослідження було проведено порівняльний аналіз впливу різних катіонів – натрію, калію та амонію – у складі фосфатних буферних розчинів на

вогнезахисні властивості покриттів. За результатами випробувань зразків XPS різних виробників встановлено, що фосфати калію забезпечують найкращі показники протипожежної ефективності.

Підтвердженням вогнезахисної ефективності покриттів з додаванням калієвого фосфатного буферного розчину є мінімальні пошкодження зразків пінополістиролу після вогневих випробувань (рис. 1,а). Мінімальні відмінності в ступені обгорілості свідчать про рівномірний розподіл композиції на поверхні матеріалу та її стійкість до дії високих температур. Мікрофото покриттів на поверхні XPS, зроблені після вогневих випробувань (рис. 1,б), демонструють відсутність тріщин, що вказує на те, що усадка матеріалу відбувається без розшарування чи порушення цілісності нанесеного шару.

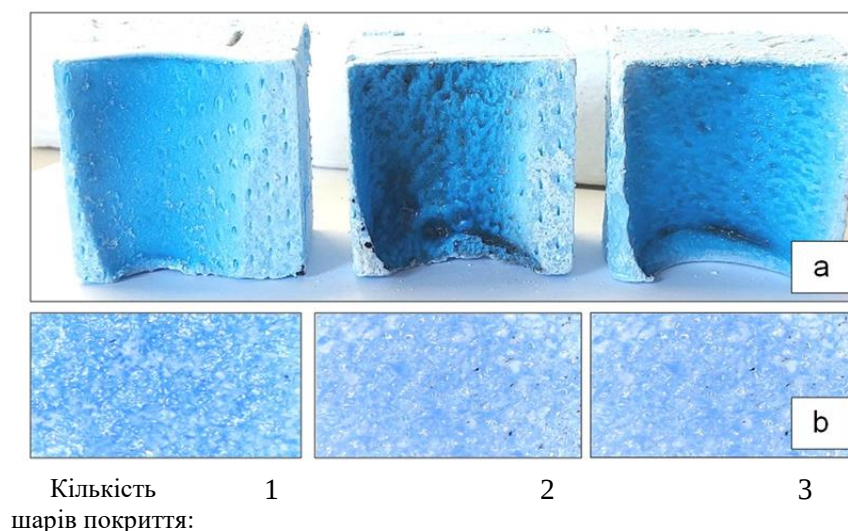


Рис.1. Зовнішній вигляд зразків після вогневих випробувань (а) та мікрофото покриттів з добавкою К-вмісного фосфатного буферного розчину (б)

Отже, золь кремнекислоти, модифікований калієвим фосфатним буферним розчином з рН 7 (при 20-25 % вмісті) потенційно є універсальним вогнезахисним складом для будівельних матеріалів природного (деревина) та синтетичного (XPS) походження.

Список використаної літератури

1. Koch C., Sures B. Degradation of brominated polymeric flame retardants and effects of generated decomposition products. *Chemosphere*. 2019. № 227. P. 329–333.
2. Koch C., Sures B. Ecotoxicological characterization of possible degradation products of the polymeric flame retardant “Polymeric FR” using algae and *Daphnia* OECD tests. *Science of the Total Environment*. 2019. № 56. P. 101–107.
3. ДСТУ 4479:2005 Речовини вогнезахисні водорозчинні для деревини. Загальні технічні вимоги та методи випробування. Чинний з 01.10.2006. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 17 с.
4. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. Чинний з 01.01.2020. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2020. 75 с.