

УДК 614.842

Ю.В. Цапко^{1,2},

докт. техн. наук, професор
ORCID: 0000-0003-0625-0783

М.В. Суханевич¹,

докт. техн. наук, професор
ORCID: 0000-0002-9644-2852

О.П. Бондаренко¹,

канд. техн. наук, доцент
ORCID: 0000-0002-8164-6473

О.Ю. Цапко^{1,3},

канд. техн. наук, старш. наук. співроб.
ORCID: 0000-0003-2298-068X

¹Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського, Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

³Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс", м. Київ

ПОКРАЩЕННЯ ВОГНЕЗАХИСТУ ТКАНИН ІНТУМЕСЦЕНТНИМ ПОКРИТТЯМ

У статті на основі аналізу літературних джерел встановлено, що сьогодні важко уявити захист людських життів від вогню без вогнезахисних покриттів на текстилі. Точно визначені стандарти дозволяють встановити вимоги до текстильних матеріалів, які мають вогнезахист. Навряд чи можливо запобігти заpalенню текстилю через їх фізичні параметри (температура плавлення, температура спалаху). Однак, можна подовжити час для втечі людей, щоб почати рятувальні заходи, застосовуючи відповідні вогнезахисні системи або комбінацію окремих активних компонентів. Зниження горючості і розроблення важкогорючих та важкозаймистих матеріалів є одним із основних напрямків попередження виникнення пожеж та вирішення проблеми розширення області застосування цих матеріалів. Оброблення засобами вогнезахисту суттєво впливає на поширення полум'я, дозволяє набагато зменшити димоутворювальну здатність та тепловиділення. Тому дослідження, що направлені на визначення закономірностей шляхів вогнезахисту, що використовуються для виготовлення текстильних виробів є актуальним. Одним з таких перспективних напрямів є вивчення утворення шару пінококсу при вогнезахисті тканини інтумесцентними покриттями. Експериментальними дослідженнями з визначення пожежонебезпечних властивостей текстильного матеріалу встановлено загорання необробленого зразка, натомість для вогнезахисного – процес займання та поширення полум'я не відбувся. Гальмування процесу займання та поширення полум'я для такого зразка пов'язане з розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів (азот, діоксин вуглецю), зміною напрямлення розкладу в сторону утворення негорючих газів і важкогорючого коксового залишку. Це свідчить про можливість переходу

текстильного матеріалу при обробленні композицією до матеріалів, які відносяться до важкозаймистих, що не поширюють полум'я поверхню.

Ключові слова: *тканина, текстильні матеріали, оброблення, інтумесцентне покриття, вогнезахист, температура займистості.*

Постановка проблеми. Одними з найбільш розповсюдженими матеріалами для оздоблення громадських приміщень залишаються тканини (гардини, штори, занавіски), але в зв'язку з їх підвищеною горючістю такі матеріали відносяться до пожежонебезпечних. Для комплексного захисту текстильних матеріалів від загоряння запропоновано використовувати суміші водорозчинних неорганічних солей, але вогнезахисне оброблення цими речовинами для текстильних матеріалів не придатне, тому що на поверхні спостерігається утворення висолів, які осипаються, а з часом матеріал втрачає захисні властивості, що приводить до займання горючих конструкцій при дії високотемпературного полум'я.

Зниження горючості і розроблення важкогорючих та важкозаймистих матеріалів є одним із основних напрямків попередження виникнення пожеж та вирішення проблеми розширення області застосування цих матеріалів. Оброблення засобами вогнезахисту суттєво впливає на поширення полум'я, дозволяє набагато зменшити димоутворювальну здатність та тепловиділення.

Тому дослідження, що направлені на визначення закономірностей шляхів вогнезахисту, що використовуються для виготовлення текстильних виробів є актуальним. Одним з таких перспективних напрямів є вивчення утворення шару пінококсу при вогнезахисті тканини інтумесцентними покриттями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Правила пожежної безпеки вимагають використання жароміцних і вогнестійких текстильних матеріалів в місцях, де вони будуть контракувати з полум'ям, для протипожежних бар'єрів (наприклад, протипожежні штори для театрів, ізоляційні тканини) і військового застосування. Окрім того, багато тканин використовується в системах громадського транспорту, таких як комерційні авіалінії, лайнери і сучасні швидкісні поїзди [1].

Сьогодні важко уявити захист людських життів від вогню без вогнезахисних покриттів на текстилі [2]. Точно визначені стандарти дозволяють встановити вимоги до текстильних матеріалів, які мають вогнезахист. Навряд чи можливо запобігти заpalенню текстилю через їх фізичні параметри (температура плавлення, температура спалаху). Однак, можна подовжити час для втечі людей, щоб почати рятувальні заходи, застосовуючи відповідні вогнезахисні системи або комбінацію окремих активних компонентів.

Для вогнезахисту тканин використовуються просочувальні засоби, що наносяться на будівельну конструкцію та характеризуються розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів. Але такі речовини малоефективні та потребують значної кількості, окрім того займання може виникнути у важкодоступних для гасіння місцях [3]. Окрім того, просочення неорганічними солями характеризується утворенням на поверхні висолів, що не затримуються в матеріалі і осипаються з поверхні.

В роботі [4] було показано, що ефективність антипіренів для целюлозних матеріалів визначається рівнем їх вогнезахисної здатності та обумовлюється насамперед розкладанням антипіренів під дією температури з поглинанням тепла і

виділенням негорючих газів, гальмуванням процесу окислення в газовій і конденсованій фазі, а також зміною напрямку реакцій у передполуменевій області у бік утворення сажеподібних продуктів на поверхні целюлозних матеріалів.

В роботі [5] представлений синтезований ряд борова-азотних полімерів для забезпечення екологічно чистої альтернативи вогнестійкій обробці бавовняних тканин. Органічне поєднання бору, фенілборазотної кислоти, було успішно пов'язано з розгалуженим поліетиленіміном, що було підтверджено аналізом. Термогравіметричний аналіз показав, що полімер з мольним співвідношенням етилені міну до антипірену – 1:1 демонструє оптимальну термоокислювальну стабільність, легко наноситься на бавовняні тканини простим методом занурення з високим поглинанням в середовищі ацетону. Тканина з добавкою у кількості 33,8 мас. % володіє самозатухаючою здатністю. Аналіз морфології обвуглювання оброблених тканин виявив вогнестійкість покриття за рахунок спучення вогнезахисного механізму.

В роботі [6] показано метод випробування для визначення швидкості виділення тепла, утворення диму та розповсюдження полум'я. Крім того, були проведені широкомасштабні випробування для того, щоб отримати інформацію про поведінку вогню при реальному застосуванні. Результати використовувались як еталон при оцінці інформації, отриманої в результаті класифікаційних випробувань. Масштабні випробування показали важливість вимірювання димоутворення та виникнення полум'яних крапель у класифікаційній схемі.

В роботі [7] відзначено смоли на основі меламіну, які широко використовуються в тканинах для забезпечення вогне- і теплостійкості. Модельовані експерименти з пранням припускають, що за один раунд прання водою 76...90 % меламіну було видалено з одягу. А тому постає задача зафіксувати антипірен у матеріалі.

Розкладання вогнестійких матеріалів через підвищену температуру або контакт з полум'ям призводить до появи ряду хімічних видів, деякі з яких можуть бути досить токсичними для людини [8]. У минулому проводились невеликі або стендові випробування продуктів розкладання, але завжди виникали питання щодо того, чи були вони репрезентативними для повномасштабних результатів випробувань на горіння. Щоб визначити, чи достатньо для вимірювання продуктів розкладу та чи будуть різні вогнестійкі матеріали утворювати “фірмовий” набір сполук, було проведено оцінювання текстильних виробів, виготовлених з чотирьох поширених вогнестійких матеріалів. Використана методологія дозволила визначити продукти термічного розкладу під впливом вогню.

В роботі [9] наведено розроблені нові вогнезахисні текстильні композити з використанням вогнезахисного льону нетканого матеріалу. Нетканый матеріал, що використовується в композитах, виконує роль протипожежного бар'єру, який зменшує вразливість наповнювального матеріалу до розвитку та поширення вогню. Однак, не показано сфери застосування приведених виробів.

Постановка завдання. Постає необхідність дослідження умов утворення бар'єру для теплопровідності та встановлення ефективної дії покриття з утворенням шару коксу, що дасть можливість вжити заходів для ліквідації пожежі.

Новизна даної роботи полягає у дослідженні ефективності покриття для текстильних займистих виробів та встановлення якості вогнезахисту.

Матеріали і методи досліджень. Для встановлення вогнезахисної ефективності текстильного матеріалу використовували зразки парусинової тканини (рис. 1), які оброблювали покриттям, що утворює на поверхні захисну плівку та здатна під дією високої температури створити на поверхні пінооксидний захисний шар. Така композиція представлена покриттям «ФАСРВОЛ-ВУД». Отриману масу перемішували і наносили на зразок текстильного матеріалу у кількості 47,0...50,0 г/м².

Для проведення випробувань застосовують випробувальну установку, в якій закріплюють випробувальний зразок текстильного матеріалу (розміром 220 x 170 мм) і підводять газовий пальник з висотою полум'я 40 мм.



Рис. 1. Зразок тканини для випробувань

Визначення вогнезахисних властивостей текстильних матеріалів повинно здійснюватись відповідно до вимог ДСТУ 4155 [10]. Суть методу випробування на займистість полягає в оцінюванні характеристик горіння матеріалів під дією полум'я в лабораторних умовах, які контролюються. Випробування з поверхні проводять під дією пальника протягом 5 сек., для цього зразок матеріалу закріплюють на шпихах тримача проб, пальник встановлюють у горизонтальному положенні на 40 мм вище нижнього краю проби та присувають до проби на відстань 17 мм. За відсутності стійкого горіння випробування проводять на новій пробі не змінюючи положення пальника протягом 15 сек. Під час проведення випробувань реєструють тривалість залишкового полуменевого горіння, прогорання матеріалу, поширювання поверхневого спалаху та вимірюють середню довжину звугленої ділянки.

Основна частина. Згідно з [10] спочатку були проведені випробування необроблених зразків текстильних матеріалів. Після дії пальника на необроблені зразки текстильних матеріалів за короткий проміжок часу (1...2 хв.) відбувалося повне згорання матеріалів, які досліджувались. Результати досліджень з визначення температури займистості необробленого текстильного матеріалу згідно з ДСТУ 4155 [10] наведено на рис. 2.

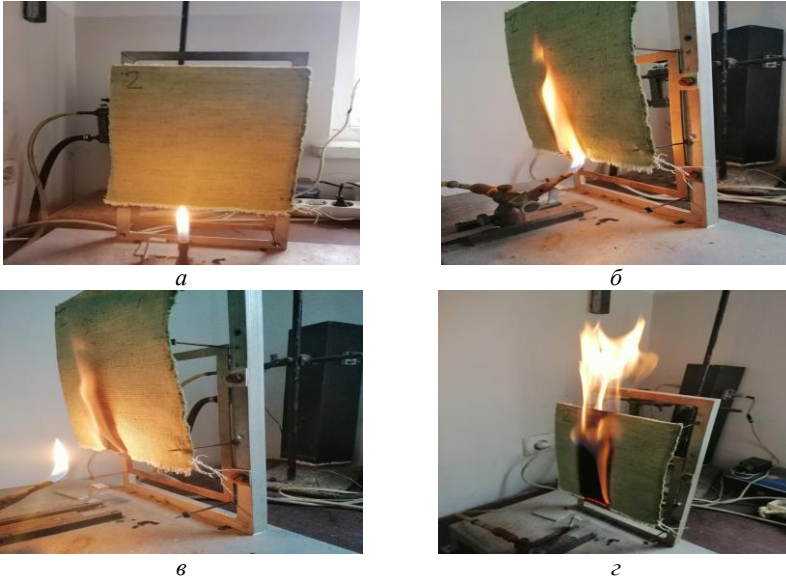


Рис. 2. Результати досліджень з визначення температури займистості необробленого текстильного матеріалу: *а* – запалювання матеріалу, *б* – процес горіння, *в* – самостійне горіння, *г* – прогорання матеріалу

Результати випробувань текстильного матеріалу, вогнезахисного покриттям з поверхні, згідно з ДСТУ 4155 [10] наведено на рис. 3.



Рис. 3. Результати випробувань текстильного матеріалу, вогнезахисного покриттям з поверхні: *а* – займання, *б* – результати випробувань

Після проведення випробування видно, що зразок текстильного матеріалу підтримує самостійне горіння більше 5 с; пошкодження зразка становить понад 150 мм. Потім було проведено випробування оброблених вогнезахисним покриттям

зразків текстильних матеріалів. Після проведення випробування з поверхні видно, що зразок текстильного матеріалу не підтримує самостійне горіння; пошкодження зразка становить не більше 50 мм.

У табл. 1 наведено та характеристики горіння. З табл. 1 видно, що після дії пальника на зразки вогнезахисних текстильних матеріалів природного походження (бавовна, льон) встановлено відсутність залишкового полум'я та поширення поверхневого спалаху, середня довжина звугленої ділянки становила менше, ніж вимагається згідно з [10], а втрата маси після випробувань складає менше 1,0 %.

Таблиця 1

Результати проведених досліджень з визначення займистості текстильного матеріалу

Показник пожежовибухонебезпеки згідно з [10]	Не оброблений зразок тканини		Оброблений зразок тканини вогнезахисним покриттям	
	випробування з поверхні	випробування з краю	випробування з поверхні	випробування з краю
Тривалість залишкового полум'я горіння, с	62	68	відсутня	відсутня
Прогорання матеріалу	прогоряє	прогоряє	не прогоряє	не прогоряє
Поширення поверхневого спалаху більш ніж на 100 мм від точки запалювання	поширюється		не поширюється	
Середня довжина звугленої ділянки, мм	163,8	200,6	35,3	32,6
Середня маса зразків до випробувань, г	27,79	27,10	28,4	28,5
Середня маса зразків після випробувань, г	4,60	3,97	28,1	28,2

Висновки. Експериментальними дослідженнями з визначення пожежонебезпечних властивостей текстильного матеріалу встановлено загорання необробленого зразка, натомість для вогнезахисного – процес займання та поширення полум'я не відбувся. Гальмування процесу займання та поширення полум'я для такого зразка пов'язане з розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів (азот, діоксин вуглецю), зміною напрямлення розкладу в сторону утворення негорючих газів і важкогорючого коксового залишку. Це свідчить про можливість переходу текстильного матеріалу при обробленні композицією до матеріалів, які відносяться до важкозаймистих, що не поширюють полум'я поверхню.

Список літератури:

1. Horrocks A.R. High performance textiles for heat and fire protection. High Performance Textiles and their Applications. *Woodhead Publishing Series in Textiles*. 2014. P. 144-175. <https://doi.org/10.1533/9780857099075.144>.
2. Rösch H. Flame retardents: Modern flame-retardant systems and selected test methods for textiles. *International Dyer*. 2006. Vol. 191 (8). P. 12-14.

3. Tsapko Yu., Tsapko A. Modeling a thermal conductivity process under the action of flame on the wall of fire retardant reed. *East European Journal Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, №10 (92). P. 50-56.
4. Жартовский В.М., Цапко Ю.В. Профілактика горіння целюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика. К.: ДП “Друкарня МВС України”, 2006. 248 с.
5. Chan S.Y., Si L., Lee K.I. et al. A novel boron–nitrogen intumescent flame retardant coating on cotton with improved washing durability. *Cellulose* 25, 843–857 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1577-2>
6. Blomqvist P., Bergstrand A., Neumann N., Thureson P., Bengtsson S. Fire safety of textile membranes in temporary structures. *Fire and Materials. Proceedings 14th International Conference and Exhibition*. 2015. P. 554-567.
7. Zhu H., Kannan K. Determination of melamine and its derivatives in textiles and infant clothing purchased in the United States. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 710, 136396. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136396
8. Ackerman M., Batcheller J., Paskaluk S. Off gas measurements from FR materials exposed to a flash fire. *AATCC Journal of Research*. 2015. Vol. 2 (2). P. 1-12.
9. Kozlowski R., Muzyczek M., Mieleniak B. Upholstery fire barriers based on natural fibers. *Journal of Natural Fibers*. 2004. Vol. 1 (1). P. 85-95.
10. ДСТУ 4155. Матеріали текстильні. Метод випробування на займістість. [Чинний від 2004-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2003.

References:

1. Horrocks, A.R. (2014). High performance textiles for heat and fire protection. High Performance Textiles and their Applications. *Woodhead Publishing Series in Textiles*. P. 144-175. <https://doi.org/10.1533/9780857099075.144>.
2. Rösch, H. (2006). Flame retardants: Modern flame-retardant systems and selected test methods for textiles. *International Dyer*. Vol. 191 (8). P. 12-14.
3. Tsapko, Yu., Tsapko, A. (2018). Modeling a thermal conductivity process under the action of flame on the wall of fire retardant reed. *East European Journal Enterprise Technologies*. Vol. 2, №10 (92). P. 50-56.
4. Zhartovskyy, V.M., Tsapko, YU.V. (2006). *Profilaktyka horinnya tselyulozovmisnykh materialiv. Teoriya ta praktyka*. К.: DP “Drukarnya MVS Ukrainy”, 248 s.
5. Chan, S.Y., Si, L., Lee, K.I. et al. (2018). A novel boron–nitrogen intumescent flame retardant coating on cotton with improved washing durability. *Cellulose* 25, 843–857. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1577-2>
6. Blomqvist, P., Bergstrand, A., Neumann, N., Thureson, P., Bengtsson, S. (2015). Fire safety of textile membranes in temporary structures. *Fire and Materials. Proceedings 14th International Conference and Exhibition*. P. 554-567.
7. Zhu, H., Kannan, K. (2020). Determination of melamine and its derivatives in textiles and infant clothing purchased in the United States. *Science of the Total Environment*. Vol. 710, 136396. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136396
8. Ackerman, M., Batcheller, J., Paskaluk, S. (2015). Off gas measurements from FR materials exposed to a flash fire. *AATCC Journal of Research*. Vol. 2 (2). P. 1-12.
9. Kozlowski, R., Muzyczek, M., Mieleniak, B. (2004). Upholstery fire barriers based on natural fibers. *Journal of Natural Fibers*. Vol. 1 (1). P. 85-95.

10. DSTU 4155 (2003). Materialy tekstyl'ni. Metod vyprobuvannya na zaymystist. [from 2004-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine.

Ю.В. Цапко, М.В. Суханевич, О.П. Бондаренко, А.Ю. Цапко
Улучшение огнезащиты тканей интумесцентным покрытием

В статье на основе анализа литературных источников установлено, что сегодня сложно представить защиту человеческих жизней от огня без огнезащитных покрытий на текстиле. Точно определенные стандарты позволяют определить требования к текстильным материалам, имеющим огнезащиту. Вряд ли возможно предотвратить воспламенение текстиля из-за их физических параметров (температура плавления, температура вспышки). Однако, можно продлить время побега людей, чтобы начать спасательные мероприятия, применяя соответствующие огнезащитные системы или комбинацию отдельных активных компонентов. Снижение горючести и разработка трудногорючих и трудновоспламеняющихся материалов является одним из основных направлений предупреждения возникновения пожаров и решения проблемы расширения области применения этих материалов. Обработка средствами огнезащиты оказывает существенное влияние на распространение пламени, позволяет намного уменьшить дымообразующую способность и тепловыделение. Поэтому исследования, направленные на определение закономерностей путей огнезащиты, используемых для изготовления текстильных изделий актуальны. Одним из таких перспективных направлений является изучение образования слоя пенококси при огнезащите ткани интумесцентными покрытиями. Экспериментальными исследованиями по определению пожароопасных свойств текстильного материала установлено возгорание необработанного образца, для огнезащитного – процесс возгорания и распространения пламени не состоялся. Торможение процесса воспламенения и распространения пламени для такого образца связано с разложением антипиренов под действием температуры сглатыванием тепла и выделением негорючих газов (азот, диоксин углерода), изменением направления разложения в сторону образования негорючих газов и тяжелого коксового остатка. Это свидетельствует о возможности перехода текстильного материала при обработке композицией к материалам, относящимся к трудновоспламеняющимся, не распространяющим пламя по поверхности.

Ключевые слова: ткань, текстильные материалы, отделка, интумесцентное покрытие, огнезащита, температура воспламеняемости.

Yu. Tsapko, M. Sukhanevich, O. Bondarenko, O. Tsapko
Improvement of fire protection of fabrics with intumescent coatings

Based on the analysis of literature sources, the article finds that today it is difficult to imagine the protection of human lives from fire without fire-retardant coatings on textiles. Precisely defined standards allow to determine the requirements for textile materials that have fire protection. It is hardly possible to prevent the inflammation of textiles due to their physical parameters (melting point, flash point). However, it is possible to extend the time for people to escape to start rescue operations by using appropriate fire protection systems or a combination of individual active ingredients. Reducing flammability and developing flammable and combustible materials is one of

the main ways to prevent fires and solve the problem of expanding the scope of these materials. Treatment with flame retardants significantly affects the spread of flames, can significantly reduce the ability to smoke and heat. Therefore, research aimed at determining the patterns of fire protection paths used for the manufacture of textiles is relevant. One of such promising areas is the study of the formation of a layer of foam cone in the fire protection of the fabric with intumescent coatings. Experimental studies to determine the fire-hazardous properties of the textile material revealed the ignition of the untreated sample, while for the fire-retardant – the process of ignition and spread of the flame did not occur. Inhibition of the process of ignition and spread of flame for such a sample is associated with the decomposition of flame retardants under the action of temperature with heat absorption and release of non-combustible gases (nitrogen, carbon dioxide), changing the direction of decomposition towards non-combustible gases and flame retardant coke. This indicates the possibility of transition of the textile material during the processing of the composition to materials that are flammable, do not spread the flame on the surface.

Keywords: *fabric, textile materials, finishing, intumescent coating, fire protection, flammability temperature.*

Посилання на статтю

АРА: Tsapko, Yu., Sukhanevich, M., Bondarenko, O., & Tsapko, O. (2022). Improvement of fire protection of fabrics with intumescent coatings. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 49 (1), 29-37.

ДСТУ: Цапко Ю.В., Суханевич М.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю. Покращення вогнезахисту тканин інтумесцентним покриттям. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2022. № 49 (1). С. 29-37.