

УДК614.8

О.Б. Скородумова, д.т.н., професор, проф.каф. (ORCID0000-0002-8962-0155)

О.В. Тарахно, д.т.н., професор, проф.каф. (ORCID0000-0001-9385-9874)

О.М. Чеботарьова, ад'юнкт (ORCID0000-0002-7321-8700)

С. В. Гарбуз, к.т.н., доц.каф.(ORCID 0000-0001-6345-6214)

Г.М. Радченко, курсант (ORCID0000-0002-6455-3582)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ВОДОСТІЙКІСТЬ КРЕМНЕЗЕМИСТИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА

Досліджено водостійкість бавовняних текстильних матеріалів, просочених золями SiO_2 які одержані на основі рідкого скла. Експериментальні покриття по тканинах готували ванним методом. Після нанесення кожного шару покриття і видалення зайвого золю експериментальні зразки сушили в сушильній шафі при (60 – 80) °С. Просочені зольом зразки тканини з антипіренами та без них, заглиблювали в ємності з дистильованою водою, дотримуючись однакового співвідношення зразки/вода. Вогнезахисні властивості покриттів визначали після витримування в воді протягом 2 - 72 годин. Ступінь руйнування покриттів підчас гідролізу досліджували, визначаючи оптичну густину гідролізату над поверхнею зразків за допомогою спектрофотометричного (КФК-2) методу. Вогнезахисні властивості визначали на лабораторній установці проведення вогневих випробувань.

Встановлено, що під дією води відбувається часткова гідратація поверхні кремнеземистого покриття, яка не призведе до його руйнування. Наявність шару адсорбованих молекул води на поверхні покриття є причиною додаткового підвищення вогнезахисних властивостей зразків. Показано, що ступінь однорідності золю SiO_2 впливає на стійкість до гідролізу гелевих покриттів. Переважний вплив оказують золі SiO_2 низької концентрації (8 %), які характеризуються високою текучістю та мають тривалий термін життя.

Показано, що навіть довготривала дія води зберігає підвищені вогнезахисні властивості просочених зразків у порівнянні з не просоченими зразками тканини. Показано, що переважний вплив на вогнезахисні властивості оказує концентрація та ступінь однорідності золю SiO_2 . Поверхневий шар антипіренів запобігає остаточному горінню та тління зразків після видалення джерела вогню але не значно впливає на численні показники вогнезахисних властивостей.

Ключові слова: рідке скло, вогнезахисні покриття, текстильні матеріали, водостійкість, пошарова збірка, вогнестійкість

1. Вступ

Проблема збереження життя та здоров'я людини є однією з найважливіших в області цивільного захисту та пожежної безпеки. Вирішення цієї проблеми складається з розв'язання великої кількості гуманітарних, соціальних і технічних завдань, в тому числі з питань зменшення рівня пожежної небезпеки для людей в місцях великого скупчення, запобігання виникненню пожежі, а також розробки шляхів її локалізації [1].

Одним з важливих завдань в цьому сенсі є розроблення технологічних принципів підвищення вогнезахисних властивостей текстильних матеріалів, які використовуються як оббивні та оздоблювальні матеріали в жилих будівлях, офісах та місцях великого скупчення людей [2–4]. Окрім цього важливим є

зменшення димовиділення під час пожежі за рахунок придушення загоряння текстильних оздоблювальних матеріалів [5].

З цієї точки зору актуальними є дослідження, пов'язані з розробкою вогнезахисних покриттів по текстильних матеріалах, які здатні надійно закріплюватися на поверхні тканини, зменшувати загальний тепловий ефект від загоряння або взагалі запобігати загорянню тканини під дією джерела вогню.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Останнім часом для вогнезахисту текстильних матеріалів використовують саме кремнеземисті покриття, які не окислюються, не горять, не піддаються перебудові під дією полум'я. В якості прекурсорів для одержання кремнеземистих покриттів зазвичай використовують клас кремнійорганічних сполук різної просторової будови, які мають в своєму складі атоми фосфору, бром, нітрогену та інші. Намагаючись підвищити вогнезахисну здатність кремнеземистих покриттів використовують різні методи нанесення цих речовин на тканину: просочення, розпилення, пошарову збірку тощо [6–9].

Відомо, що природа кремнеземистого прекурсорів та передісторія його одержання впливає на ступінь однорідності гелевого покриття на його основі та, відповідно, на якість вогнезахисної дії покриття [10, 11].

Введення в склад композицій оксидів титану, цирконію і алюмінію помітно підвищує вогнестійкість оброблених тканин, проте їх ефективність нижче, ніж у кремнезему [11].

Використання фосфоровмісних сполук як компонентів захисного золю сприяє підвищенню вогнезахисних властивостей просочених тканин але збільшує виділення диму. Малий вміст сполук фосфор (до 15 мас. % по відношенню до кремнійорганічного прекурсорів) значно поліпшує вогнестійкість тканини за рахунок синергетичного ефекту [12]. Але складність синтезу фосфоровмісних сполук та токсичний вплив на організм людини та навколишнє середовище обмежує використання таких композицій.

Достатньо широко використовується спосіб формування вогнезахисного покриття шляхом просочення тканини водними суспензіями, в яких дисперсною фазою є наночастинки SiO_2 [13, 14]. Але на якість нанесення захисного шару впливають умови реакції осадження наночастинок SiO_2 на поверхню волокон тканини, час модифікування і вміст тетраетилортосиліката, розподіл наночастинок по діаметру. Потрібно сказати, що пошарове нанесення кремнеземистого покриття є дуже тривалим процесом, та потребує додаткового закріплення кожного шару термообробкою, що підвищує коштовність та енергоємність процесу.

Золі SiO_2 неорганічного походження, наприклад, одержані в результаті обмінної реакції силікату натрію з мінеральною кислотою, можна розглядати як низько концентровані суспензії, в яких дисперсною фазою є міцели кремнієвої кислоти здатні до поліконденсації з утворенням наночастинок. З погляду нанесення наночастинок SiO_2 цікаві золі кремнієвої кислоти, отримані при дії мінеральних кислот на силікат натрію (рідке скло). Однак у публікаціях, наведених у технічній літературі, розглядалися шляхи одержання гелевих

порошків потрібної структури, заданої пористості чи морфології пор, але не стійкого золю.

В попередніх дослідженнях [15] авторами було запропоновано метод одержання стійкого золю SiO_2 одержаного на основі рідкого скла в інтервалі концентрацій (4–16 %), досліджено реологічні властивості золів та показано позитивний вплив захисних покриттів на їх основі на підвищення вогнезахисту текстильних матеріалів. Але, враховуючи неорганічне походження таких золів, тобто відсутність на поверхні покриттів вуглеводневих груп, можна припустити часткове зниження адгезії покриття до целюлозного волокна.

Вогнезахисне покриття по текстильних матеріалах надійно діє тільки у випадку достатньої адгезії до волокна тканини. Оцінити адгезію покриття до волокна ниток тканини можна під час дослідження водостійкості просочених зразків. Це пояснюється тим, що вода оказує розклинювальну дію по місцях з'єднання покриття з нитками тканини.

Таким чином, не вирішеною є проблема визначення надійності нанесення кремнеземистих покриттів на основі стійких концентрованих золів SiO_2 на основі рідкого скла.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є дослідження процесів, що відбуваються в захисному покритті під час проведення випробувань на водостійкість.

Для досягнення поставленої мети потребували вирішення наступні завдання дослідження:

- визначити вплив тривалої дії води (процесу гідролізу) на структуру покриття на основі рідкого скла;
- визначити вплив тривалого гідролізу на вогнезахисні властивості покриттів.

4. Матеріали та методи дослідження

Експериментальні золі SiO_2 одержували змішуванням водних розчинів рідкого скла та оцтової кислоти. Бавовняні зразки розмірами 9 x 13 см просочували «ванним» методом, видаляли зайвий золь на віджимних валках та сушили за температур 80 – 100 °С. Наносили покриття в три шари. На висушені зразки розчини антипіренів (діамоній гідрофосфату та карбаміду) наносили методом розпилювання та знову сушили. Маркування зразків складається з концентрації золю SiO_2 (8, 11, 14). У разі використання антипіренів до маркування додавали індекс «а».

Просочені золем (концентрацією SiO_2 8, 11 та 14 %) зразки тканини з антипіренами та без них, заглиблювали в ємності з дистильованою водою об'ємом 3 л, дотримуючись однакового співвідношення зразки/вода. Для порівняння в окрему ємність помістили зразки не просоченої тканини. Після витримання деякий час в воді (2, 4, 6, 24, 48 та 72 години) виймали по одному зразку з кожної ємності та сушили в сушильній шафі. Одночасно з кожної ємності відбирали порцію води, попередньо скаламученої, для визначення оптичної густини рідини над зразками, що піддаються гідролізу (гідролізату).

Оптичну густину визначали за допомогою фотоколориметра КФК-2, використовуючи як еталон дистильовану воду. Згідно стандарту один раз за добу в ємності заливали свіжу воду.

Після висушування зразків їх піддавали вогневим випробуванням, використовуючи лабораторну установку, яка складається з захисного металевого горизонтального екрану з отвором посередині діаметром 30 мм. Пальник підводили знизу отвору таким чином, щоби отвір знаходився на середині факелу полум'я від горіння газу що подається під тиском 0,2МПа.

Зверху на екрані закріплювали зразок тканини. Процес вогневого випробування фіксували на відеокамеру, за допомогою якої визначали час початку обуглення тканини під дією вогню, час початку її руйнування, час остаточного горіння та тління після видалення джерела вогню. Окремо визначали площу пошкодження зразків тканини від дії вогню протягом 6 с.

5. Результати досліджень впливу тривалої дії води на структуру покриття

Витримування зразків в воді протягом 2–6 годин не призведе до значних змін оптичної густини гідролізату (рис.1,а).

Практично така ж ситуація спостерігається на графіку змінення оптичної густини гідролізату над зразками тканини, просоченими окрім золю SiO_2 розчинами антипіренів (рис.1,б). Композиції показують достатню стійкість у перші 6 годин гідролізу.

З підвищенням часу гідролізу спостерігається різке збільшення оптичної густини не просоченого зразка, що вказує на часткову втрату офарблення. Криві оптичної густини просочених зразків накладаються на криву не просоченого зразка (рис. 1, а).

У разі додаткового просочення зразків антипіренами спостерігається різке підвищення оптичної густини гідролізатів у порівнянні з кривою для не просоченого зразку (рис. 1,б).

Форма кривих графіка 2(а) показує, що основне пошкодження покриття відбувається через 24 години гідролізу. Заміна води в ємностях та витримка протягом ще 24 годин не призведе до помітних змін в покриттях. Тільки на 3 добу гідролізу відбувається деяке збільшення оптичної густини гідролізату зразків, просочених золем 8%-ї концентрації.

Схожа картина спостерігається на графіку 2(б): максимальне пошкодження покриття відбувається в перші 24 години гідролізу, а подальші дві доби випробувань практично не змінювали значень оптичної густини.

6. Результати досліджень впливу тривалого гідролізу на вогнезахисні властивості покриттів

На рис 3–4 наведено результати вогневих випробувань експериментальних зразків: криві змінення часу початку обуглення ($\tau_{п.о}$) та часу початку руйнування тканини ($\tau_{п.р}$) від часу гідролізу покриттів. Слід зауважити, що не просочена тканина значно знижує свої вогнезахисні властивості після гідролізу:

час початку обуглення зменшується від 6 до 4с, час початку руйнування коливається в інтервалі 5–8 с.

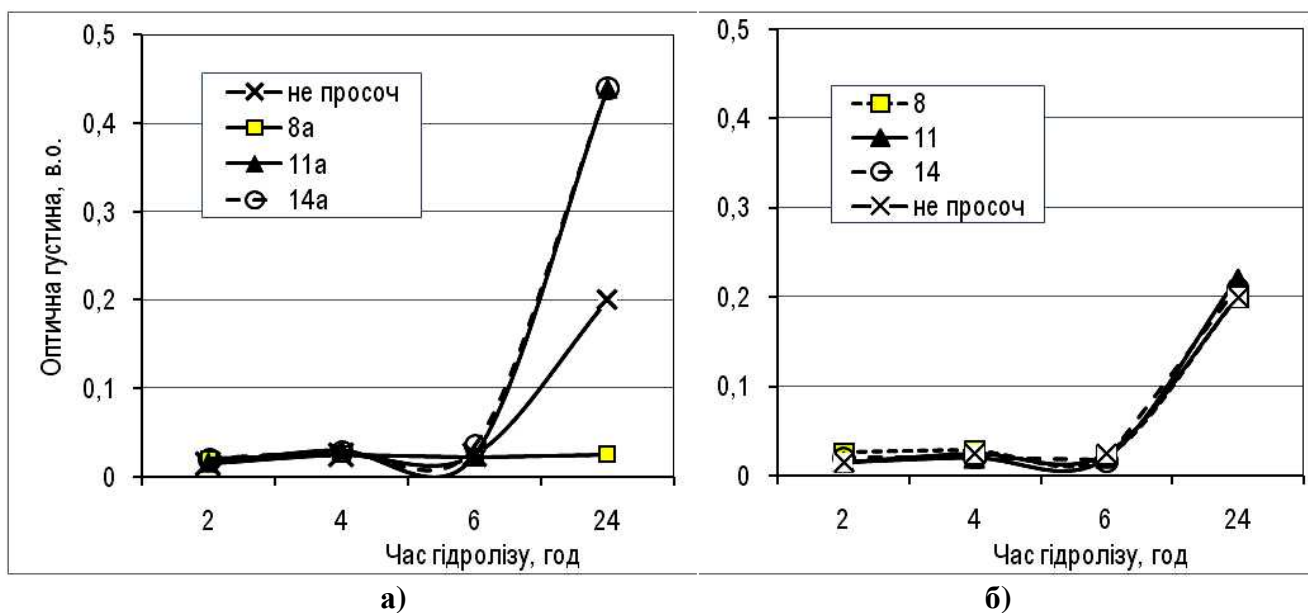


Рис. 1. Зміна оптичної густини гідролізату в залежності від часу гідролізу зразків, просочених золями 8,11 та 14%-ї концентрації а) вказує на додаткове просочення зразків розчинами антипіренів; б) додаткове просочення зразків антипіренами.

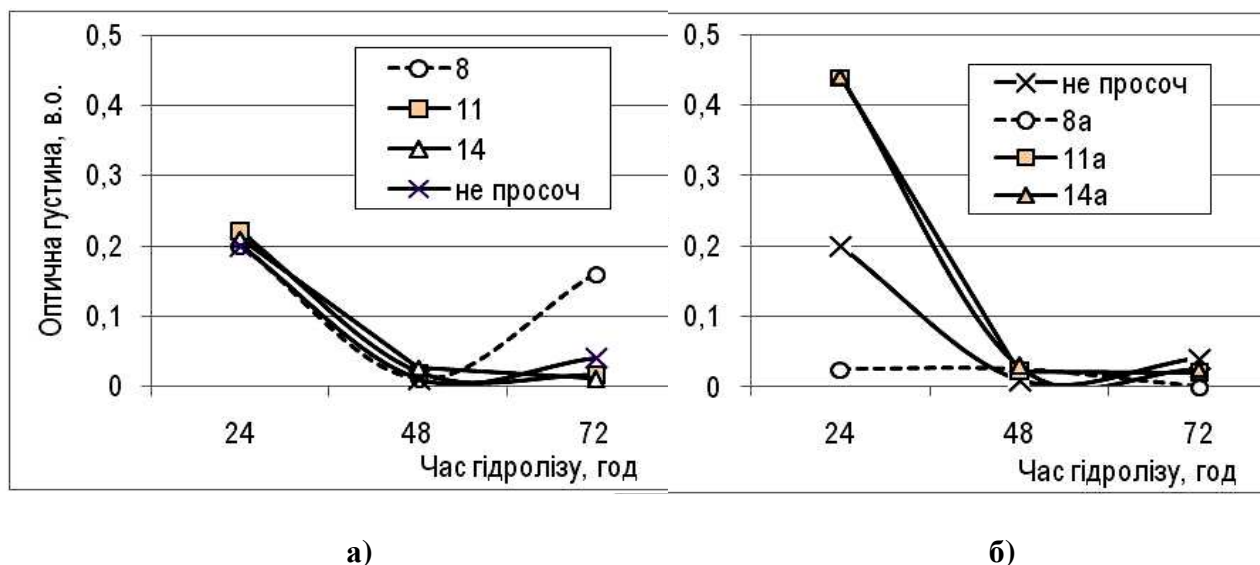


Рис.2. Вплив часу гідролізу просочених зразків на оптичну густина гідролізату: а) – зразки просочені золевм SiO₂, б) – зразки додатково просочені розчинами антипіренів

Всі не просочені зразки після видалення джерела вогню демонстрували остаточне горіння в інтервалі 11–130 с, остаточне тління спостерігалось тільки в зразку після гідролізу протягом 2 години та в зразку, який гідролізу не піддавали.

Час початку обуглення не просочених зразків (рис. 3,а) збільшується з підвищенням терміну гідролізу, що вказує на гідратацію волокон целюлози.

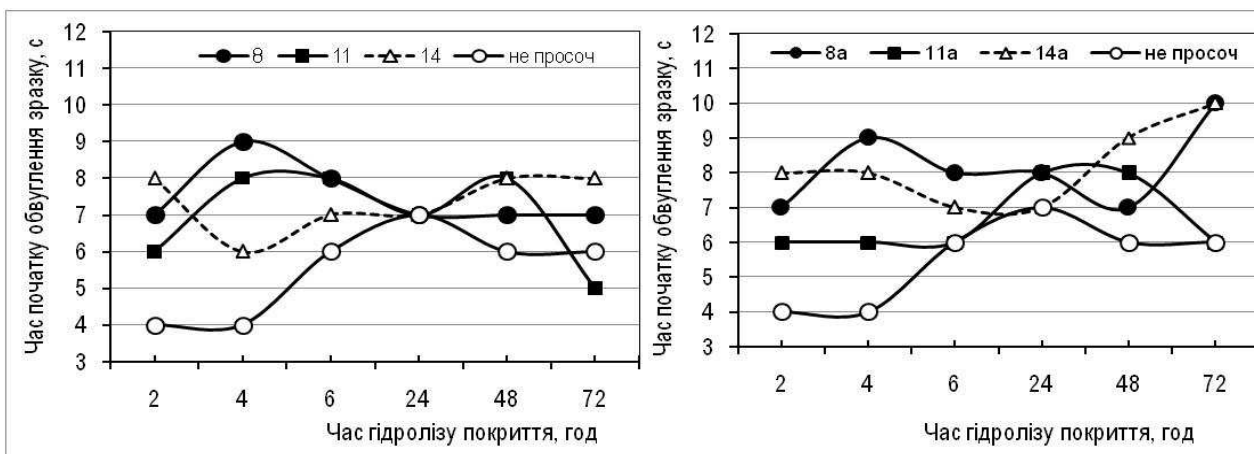


Рис.3. Залежність часу початку обуглення підчас дії вогню на зразки, просочені золев SiO₂ (а) та додатково просочені антипіренами (б), від часу гідролізу покриттів

Час початку обуглення зразків, просочених золями 8 та 11 %-ї концентрації після гідролізу протягом 2–4 години змінюється від 6 до 9 с (рис. 3, а), ймовірно, за рахунок часткової гідратації поверхні захисного покриття: адсорбція молекул води на гідрофільних ділянках поверхні підчас гідролізу протягом 2-4 години підвищує не тільки час початку обуглення, але й час початку руйнування тканини (рис. 4).

Подальший гідроліз знижує вогнезахисні властивості покриттів, але у порівнянні з не просоченими зразками зберігається помітне покращення вогнезахисних властивостей.

7. Обговорення результатів дослідження водостійкості захисних покриттів

Гідроліз зразків протягом 24 годин, ймовірно, стає причиною часткової втрати зразками офарблення, про що свідчить різке підвищення оптичної густини гідролізату в ємності з не просоченими зразками тканини (рис. 1,а).

Криві змінення оптичної густини гідролізату в ємностях з просоченими зразками практично накладаються одна на одну, тому можна припустити, що покриття мають деяку поруватість, завдяки чому офарблення тканини частково попадає у гідролізат, збільшуючи його оптичну густину.

Зразки, додатково просочені антипіренами, легше віддають деяку кількість не тільки офарблення тканини, але й частково антипіренів (рис. 1,б). Причиною цього, ймовірно, є слабе закріплення антипіренів на поверхні кремнеземистого покриття, на якому відсутні вуглеводневі групи. Попередніми дослідженнями вже було доведено, що концентрація SiO₂-золю впливає на його реологічні властивості [7] (текучість, в'язкість), які, в свою чергу, впливають на якість (ступінь однорідності) нанесення покриття.

Нанесення антипіренів на тонке покриття у більшому ступені захищає тканину: оптична густина гідролізату практично не змінюється. Враховуючи, що кожні 24 години в ємності заливали чисту воду, змінення оптичної густини гідролізату може показати інтервал стійкості покриття (рис. 2). Всі зразки з

маркуванням «а» біли просочені окрім золів SiO_2 розчинами діамоній гідрофосфату та карбаміду однакової концентрації за однакових умов просочення, віджиму та сушіння, тому можна зробити висновок, що стійкість покриття, перш за все, залежить від концентрації золю SiO_2 . Висновки щодо водостійкості експериментальних покриттів на основі обробки тільки кривих оптичної густини, звісно, не є обґрунтованими без результатів вогневих випробувань після гідролізу покриттів.

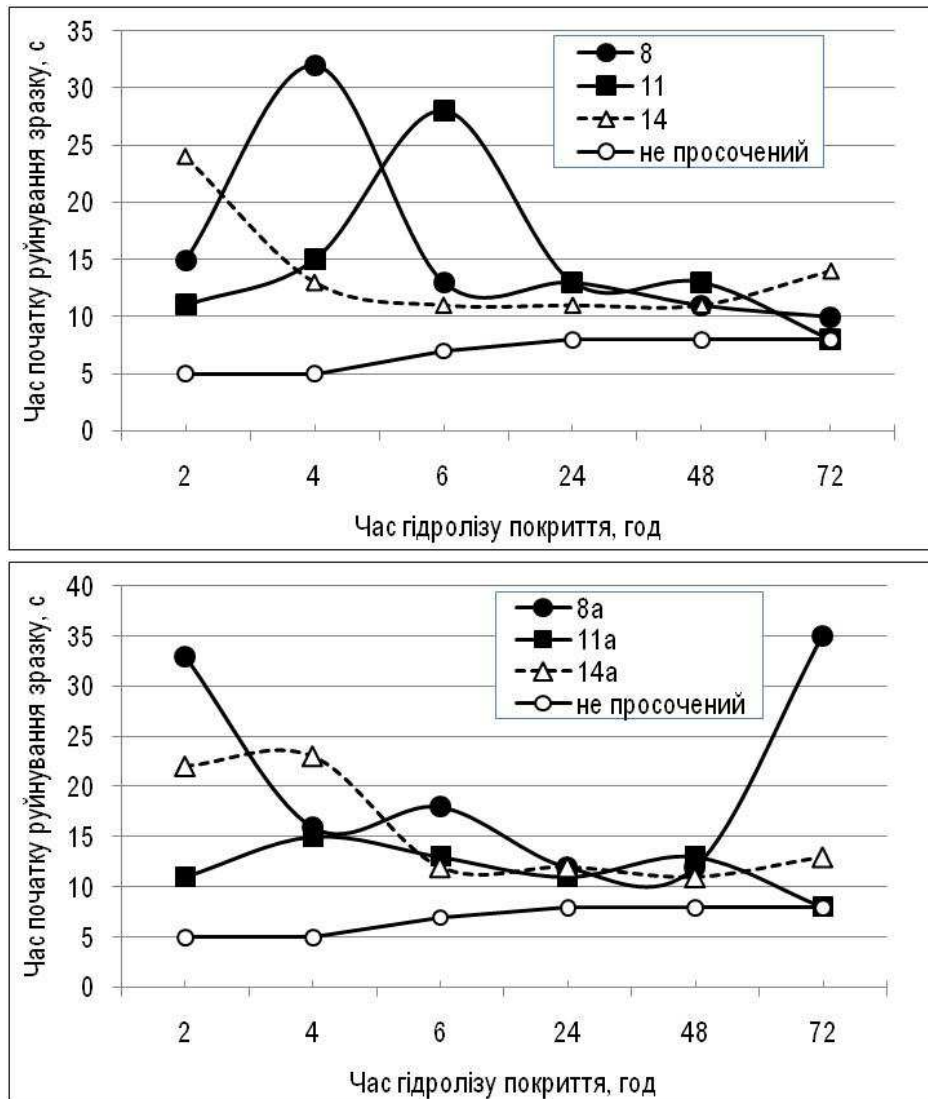


Рис.4. Вплив часу гідролізу покриттів на час початку руйнування зразків під час вогневих випробувань

Відомо, що просочення тканини розчинами антипіренів негативно впливає на фізико-механічні характеристики. Це пояснюється розпушуванням волокон целюлози під час просочення. Якщо в момент просочення нитки тканини розпушуються на окремі волокна, захисне покриття мало б теж руйнуватися, тому очікувано було одержати значне зниження вогнезахисних показників.

Довготривалий гідроліз (протягом 2-3 діб) знижує час початку обуглення тканини (рис.3) але, враховуючи подібність форми кривих для зразків без антипіренів та зразків, додатково просочених антипіренами, можна також

зробити висновок про переважну роль концентрації та, відповідно, ступеню однорідності золю SiO_2 у підвищенні вогнезахисних властивостей.

Вогнезахисна дія антипіренів переважно проявляється під час визначення часу початку руйнування тканини, часу остаточного горіння та тління: після видалення джерела вогню зразки не горіли і не тліли.

Криві наведені на рисунках 1–4 узгоджуються між собою. В перші 5 годин гідролізу вогнезахисні властивості зразків значно вищі за властивості не просочених зразків, при чому більший вплив оказує використання золів SiO_2 низької концентрації (8–11 %). Шар адсорбованих молекул води, що утворився під час гідролізу на поверхні покриття, не піддається десорбції в процесі сушіння зразків, тому час початку обуглення та руйнування помітно збільшується. Довготривала дія води нівелює вплив концентрації кремнеземистого золю але за участі антипіренів висвітлює вплив ступеню однорідності гелевого покриття на вогнезахисні властивості.

8. Висновки

1. Досліджено водостійкість розроблених складів вогнезахисних кремнеземистих покриттів по текстильних матеріалах. Встановлено, що під дією води протягом 2–6 годин відбувається часткова гідратація поверхні кремнеземистого покриття, яка не призведе до його руйнування. Основне пошкодження покриття відбувається через 24 години гідролізу. Показано, що ступінь однорідності золю SiO_2 впливає на стійкість до гідролізу гелевих покриттів. Золі SiO_2 низької концентрації (8 %), які характеризуються високою текучістю та мають тривалий термін життя, демонструють більшу стійкість до тривалої дії води.

2. Досліджено вплив терміну гідролізу на вогнезахисні властивості просочених зразків тканини. Показано, що навіть довготривала дія води забезпечує підвищення вогнезахисних властивостей просочених зразків у порівнянні з не просоченими зразками тканини в 2–2,5 рази. Показано, що переважний вплив на вогнезахисні властивості оказує концентрація та ступінь однорідності золю SiO_2 . Тонкий шар покриття на основі золів 8–11 %-ї концентрації в 2 рази підвищує час початку руйнування тканини у порівнянні з покриттям на основі золю SiO_2 14 %-ї концентрації та у 6 разів у порівнянні з не просоченою тканиною. Поверхневий шар антипіренів запобігає остаточному горінню та тлінню зразків після видалення джерела вогню але не значно впливає на численні показники вогнезахисних властивостей.

Література

1. Rovira J., Domingo J. L. Human health risks due to exposure to inorganic and organic chemicals from textiles: A review. *Environmental Research*. 2019. Vol. 168. P. 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.027>

2. Chanchal Kumar Kundu, Lei Song, Yuan Hu Sol-gel coatings from DOPO-alkoxysilanes: Efficacy in fire protection of polyamide 66 textiles. *European Polymer Journal*. 2020. Vol. 125. 109483. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109483>

3. Fanglong Z., Qun X., Qianqian F., Rongtong L., Kejing L. Influence of nano-silica on flame resistance behavior of intumescent flame retardant cellulosic textiles: Remarkable synergistic effect? *Surface & Coatings Technology*. 2016.294. P. 90–94.<http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.03.059>

4. Alongi J., Ciobanu M., Malucelli G. Sol–gel treatments on cotton fabrics for improving thermal and flame stability: effect of the structure of the alkoxy silane precursor. *Carbohydrate Polymers*. 2012. 87(1).P. 627–635.[doi:10.1016/j.carbpol.2011.08.036](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.036)

5. Skorodumova, O., Tarakhno, O., Chebotaryova, O., Saveliev, D., Emen, F. Investigation of gas formation processes in cotton fabrics impregnated with binary compositions of ethyl silicate-flame retardant system, *Materials Science Forum*. 2021. 1038. P. 460-467.[doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.460](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.460)

6. Alongi J., Ciobanu M., Malucelli G. Thermal stability, flame retardancy and mechanical properties of cotton fabrics treated with inorganic coatings synthesized through sol–gel processes. *Carbohydrate Polymers*. 2012.Vol. 87(3).P. 2093–2099.[doi:10.1016/j.carbpol.2011.10.032](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.10.032)

7. Skorodumova, O., Tarakhno, O., Chebotaryova, O., Bezuglov, O., Emen, F.M. The use of sol-gel method for obtaining fire-resistant elastic coatings on cotton fabrics, *Materials Science Forum*. 2021. 1038. P. 468–479. [doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.468](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.468)

Paul, B., Mahmud-Ali, A., Lenninger, M., Eberle, S., Bernt, I., Mayer, D., Bechtold, T. Silica incorporated cellulose fibres as green concept for textiles with reduced flammability. *Polymer Degradation and Stability*. 2022.Vol. 195. 109808.<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109808>

9. Yan, B., Zhou, Q., Zhu, X., Guo, J., Mia, M.S., Yan, X., Chen, G., Xing, T. A superhydrophobic bionic coating on silk fabric with flame retardancy and UV shielding ability. *Applied Surface Science*.2019. Vol. 483.P.929–939.[doi:10.1016/j.apsusc.2019.04.045](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.045)

10. Kakar, A., Jayamani, E., Khusairy, M., Bakri, B. Rahman, R. Durability and sustainability of the silica and clay and its nanocomposites. *Silica and Clay Dispersed Polymer Nanocomposites Preparation, Properties and Applications*, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. 2018.P.137–157.<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-102129-3.00009-9>

11. Zhou, Y., Tang, R-C., Xing, T., Guan, J-P., Shen, Z-H., Zhai, A-D. Flavonoids-metal salts combination: A facile and efficient route for enhancing the flame retardancy of silk. *Industrial Crops & Products*. 2019. Vol. 130.P. 580–591.<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.020>

12. Brancatelli G., Colleoni C., Massafra M.R., Rosace G. Effect of hybrid phosphorus-doped silica thin films produced by sol–gel method on the thermal behaviour of cotton fabrics. *Polymer Degradation and Stability*. 2011.Vol. 96 (4).P.483–490.<http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.01.013>

13. Kundu, C. K., Song, L., Hu, Y. Nanoparticles based coatings for multifunctional Polyamide 66 textiles with improved flame retardancy and hydrophilicity. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2020. Vol. 112. 15–19.<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.07.013>

14. Alessandrade, J. R., Fonseca, S., Bufalino, L., Ribeiro, C., Martins, M. A., Marconcini, J. M., Tonoli, G. H. D. Evaluation of reaction factors for deposition of silica (SiO_2) nanoparticles on cellulose fibers. *Carbohydrate Polymers*. 2014. Vol. 114. P. 424–431. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.08.042>

15. Skorodumova, O., Tarakhno, O., Chebotareva, O., Bajanova, K. Silicon Protective Coatings For Textile Materials Based On Liquid Glass. *Problems of Emergency Situations*. 2022. № 1(35). 109–119. <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-35-8>

O. Skorodumova, DSc, Professor, Professor of the Department

O. Tarakhno, DSc, Professor, Professor of the Department

O. Chebotareva, Adjunct

S. Harbuz, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

H. Radchenko, Student

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

STUDY OF WATER RESISTANCE OF SILICEOUS PROTECTIVE COATINGS BASED ON LIQUID GLASS

The water resistance of cotton textile materials impregnated with SiO_2 sols obtained on the basis of liquid glass was studied. Experimental coatings on fabrics were prepared by the bath method. After applying each coating layer and removing excess ash, the experimental samples were dried at (60–80) °C. Fabric samples impregnated with sol SiO_2 were immersed in containers with distilled water maintaining the same sample/water ratio. The fire-retardant properties of the coatings were determined after standing in water for 2 – 72 hours. The degree of destruction of coatings during hydrolysis was studied by determining the optical density of the hydrolyzate above the surface of the samples using the spectrophotometric (KFK-2) method. Fire-resistant properties were determined at a laboratory installation for fire tests.

Under the influence of water, partial hydration of the surface of the silica coating occurs, which does not lead to its destruction. The presence of a layer of adsorbed water molecules on the surface of the coating is the reason for an additional increase in the fire-retardant properties of the samples. It is shown that the degree of homogeneity of the SiO_2 sol affects the resistance to hydrolysis of the gel coatings. Low-concentration SiO_2 sols (8 %), which are characterized by high fluidity and have a long service life, have a predominant effect.

The long-term effect of water provides an increase in the fire-retardant properties of impregnated samples in comparison with non-impregnated fabric samples. The concentration and degree of homogeneity of the SiO_2 sol have a predominant effect on the flame retardant properties. The surface layer of flame retardants prevents the final burning and smoldering of the samples after removing the fire source, but does not significantly affect values of flame-retardant properties.

Keywords: liquid glass, fire-retardant coatings, textile materials, water resistance, lay-by-layer assembly, fire resistance